



Paavo Lahdenperä

Arabianrannan pohjarakenteiden pitkäaikainen toimivuus

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 02.03.2015

Valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu

Ohjaaja: DI Juha Forsman, DI Kalle Rantala

Tekijä Paavo Lahdenperä

Työn nimi Arabianrannan pohjarakenteiden pitkäaikainen toimivuus

Laitos Rakennustekniikka

Professuuri Pohjarakennus- ja maamekaniikka

Professuurikoodi Rak-50

Työn valvoja Professori Leena Korkiala-Tanttu

Työn ohjaaja(t)/Työntarkastaja(t) DI Juha Forsman, DI Kalle Rantala

Päivämäärä 02.03.2015

Sivumäärä 107 + 72

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Arabianrannan alue on vanhaa merenpohjaa, joka on täytetty sekalaisilla maamassoilla pääosin viimeisen 100 vuoden aikana. Luonnollinen maapohja on heikkolujuuksista liejusavea sekä savea, joiden yhteispaksuus alueella vaihtelee 0...25 m välillä. Savikerroksen alapuoleinen kova pohja on viettävä ja pehmeät maakerrokset paksunevat kiilamaisesti merelle päin. Täytöt aiheuttivat sen, että Arabianrannan maat liikkuivat sivusuunnassa (jopa 50 mm/vuosi) merelle päin heikon stabiliteetin takia. Kun Arabianranta muutettiin puistoalueesta asuinalueeksi, tehtiin Arabianrantaan maan sivusiirtymän pysäyttämiseksi n. 680 m pitkä ja 12...20 m leveä salpaseinärakenne stabilointipilareista. Salpaseinän tehtävänä oli pysäyttää maan vaakaliike siten, ettei paaluperustuksille aiheudu liiallista sivusuuntaista rasitusta. Salpaseinä on maansisäinen tukiseinä, jonka lamellit koostuvat stabilointipilareista.

Työssä analysoitiin suuri määrä inklinometriputkien mittatietoa. Tavoitteena oli selvittää, miten Arabianrantaan rakennettu salpaseinärakenne toimii ja onko se pysäyttänyt maan vaakasiirtymät alueella. Lisäksi tutkittiin sitä, kuinka paljon vaakasiirtymää on tapahtunut ja ovatko ne haitaksi paaluperustuksille. Salpaseinän poikkileikkaus mallinnettiin (PLAXIS-2D) ja tehtiin myös herkkyystarkastelua.

Herkkyystarkastelun perusteella näyttää siltä, että salpaseinän pilareiden tavoitelujuus olisi voinut olla pienempi ja salpaseinän leveys kapeampi. Salpaseinä pysäyttää maan sivusiirtymät yhdessä sen länsipuolelle rakennettujen paalutusten kanssa ja ilman paaluja liikkeet olisivat olleet suurempia.

Tulosten mukaan salpaseinä pysyy paikallaan ja maan liike salpaseinän mantereen puolella (itäpuolella) on joko pysähtynyt tai hyvin pientä. Tämä on hyvä siksi, että rakennusten paalutukset sijaitsevat salpaseinän itäpuolella. Salpaseinän päätyjen vieressä liike on ollut suurempaa, sillä paalulaatan reunan ulkopuolella pinnan taseus on jopa n. 2 m paalulaatan alapintaa ylempänä. On epäiltävissä, että näillä paikoilla stabiliteetti paalulaatan reunan vieressä on heikko. Salpaseinä toimii siis paalujen suojarakenteena.

Salpaseinän ja meren välillä sijaitseva rantapuisto painuu sekä sivusiirtyy kohden merta nyt ja tulevaisuudessa. On epäiltävissä, että osa rantapuiston alueen inklinometriputkista voisi olla maan painumisen ja siitä aiheutuvan negatiivisen vaippahankauksen takia nurjautanut. Tämä aiheutti epävarmuutta ranta-alueen mittaustulosten tulkintaan. Kyseistä asiaa olisi tarpeen tarkastella täydentävässä tutkimuksessa.

Avainsanat Salpaseinä, lamellistabilointi, inklinometrimittaus, FEM-mallinnus, siirtymäennuste

Author Paavo Lahdenperä

Title of thesis Long-term behaviour of foundations at Arabianranta (deep mixed column-wall structure)

Department Civil engineering

Professorship Geoengineering

Code of professorship Rak-50

Thesis supervisor Professor Leena Korkiala-Tanttu

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) M. Sc. Juha Forsman, M. Sc. Kalle Rantala

Date 02.03.2015

Number of pages 107 + 72

Language Finnish

Abstract

The area of Arabianranta was founded on an old seabed, which was filled with miscellaneous soil materials mainly during the last 100 years. Subsoil under the fill consists of 0...25 m thick clay and organic clay (gyttja) layer. Under the clay layer, there is frictional soil which slopes towards the sea. Due to fillings and the fact that frictional soil slopes towards the sea, the area of Arabianranta was not only settling but also moving horizontally towards the sea (to East) at a rate of 50 mm/year. This area was used as a park until the middle of the 1990's, but later it was decided to redevelop it to a new residential area. To inhibit the horizontal movement of soil, column-wall approximately 680 m long and 12...20 m wide was designed and constructed, so that the horizontal movements would not risk the pile foundations at Arabianranta. The column-wall consists of compartments which are made of deep-stabilized columns.

In this thesis a significant quantity of inclinometer data was analysed, with intent to discover, how the column-wall performs and if it effectively inhibits the horizontal displacements at Arabianranta. Magnitude of horizontal movements have been measured in the soil and impact to piles has been assessed. Column-wall was FEM-modelled with PLAXIS-2D and a sensitivity analysis was performed.

According to the sensitivity analysis, the target shear strength of columns could have been reduced. Additionally, the column-wall could have been narrower. The column-wall interacts together with the pilings, and without pilings the displacements on the landward side of the column-wall would have been larger.

Results indicate that the column-wall remains in place and the displacements of soil at the landward (eastern) side of the column-wall are small. This is important, because the piled buildings are also located at the landward side of the column-wall. The horizontal movement of soil is larger near the tails of the column-wall, because the soil surface is about 2 m higher than the bottom of the piled slab. At these places stability may be poor, which would explain these results. Thus, it is concluded that the column-wall structure protects the piles.

The soil at the sea side of the column-wall settles and moves horizontally towards the sea now and in the future. In this thesis it was also observed that some of the inclinometer pipes may have buckled due to the settling of soil. Settling soil may have caused negative skin friction to the pipes and this caused uncertainty to the soil displacement results at the sea side of the column wall. Possible buckling of inclinometer pipes should be researched in more detail.

Keywords Column-wall, deep mixing, inclinometer measuring, FEM-modelling, horizontal displacement of soil

Alkusanat

Tämä diplomityö tehtiin Aalto-yliopistolle Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston Geoteknisen osaston, Helsingin kaupungin rakennusviraston, Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston sekä Ramboll Finland Oy:n rahoituksella. Suuri kiitos työn rahoittajille mahdollisuudesta tutkia mielenkiintoista aihetta.

Ohjausryhmään kuuluivat:

<i>Leena Korkiala-Tanttu</i>	<i>Aalto-yliopisto, Pohjarakennus- ja maamekaniikka</i>
<i>Ilkka Vähäaho</i>	<i>Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geotekninen osasto</i>
<i>Kalle Rantala</i>	<i>Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geotekninen osasto</i>
<i>Osmo Korhonen</i>	<i>Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geotekninen osasto</i>
<i>Miia Paatsema</i>	<i>Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geotekninen osasto</i>
<i>Helena Färkkilä-Korjus</i>	<i>Helsingin kaupungin Kaupunkisuunnitteluvirasto</i>
<i>Juha Forsman</i>	<i>Ramboll Finland Oy</i>
<i>Antero Olaste</i>	<i>Ramboll Finland Oy</i>

Haluan kiittää ohjausryhmää hyvistä neuvoista sekä avusta työn aikana.

Kiitokset Aimo Karviselle (H:ki-geo) sekä Kirsi Melanderille (H:ki-geo) lähtöaineiston toimittamisesta ja neuvonannoista. Kiitokset myös Juha Häkkäselälle (Ramboll) ja Juho Mansikkamäelle (Ramboll) PLAXIS-mallinnusvaiheen auttamisessa sekä arvioista.

Erityiskiitokset Samuli Laaksolelle (Ramboll) suuren sivusiirtymädatan käsittelyssä ja Matti Lojanderille (Aalto-yliopisto) sivusiirtymäennusteissa auttamisessa. Kiitos myös perheelleni sekä ystävilleni, jotka ovat kannustaneet minua koko opiskelujen ajan.

Arabianrannan alueen historia on pitkä ja monipuolisuutensa vuoksi aihe on vaativa. Tämän työn tavoitteena on selvittää, kuinka Arabianrannan pohjarakenteet toimivat. Arabianrannassa tehty salpaseinä ja paalulaatat ovat yhdessä mittava rakenne, eikä sen toimivuutta ole aiemmin tutkittu tässä laajuudessa. Työn tarkoituksena on myös saada tietoa siitä, miten salpaseinä ja paalulaatat toimivat yhdessä ja mitä toteutetuista rakenteista voitaisiin oppia.

Espoo 2.3.2015

Paavo Lahdenperä

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Merkinnät	7
Lyhenteet	9
1 Johdanto	10
2 Syvästabilointi ja kokemuksia lamellistabiloinnista	11
2.1 Pilaristabilointitekniikka	11
2.2 Pilaristabiloinnin mitoitusperusteita	12
2.3 Lamellistabiloinnin mitoitusperusteita	13
2.4 Rakennettuja lamellistabilointeja (salpaseiniä) Suomessa	13
2.4.1 Pikku-Huopalahti, Helsinki	13
2.4.2 Itä- ja länsiranta, Porvoo	16
2.4.3 Myllypuro, Helsinki	18
2.4.4 Tärinänvaimennusseinät	19
3 Arabianrannan olosuhteet	20
3.1 Maaperän luonnontilaiset olosuhteet	20
3.2 Arabianrannan täyttöhistoria	23
3.3 Maaperän pilaantuneisuus	27
3.4 Kaksoispenger	28
3.5 Suoritetut kokeet	28
3.6 Siirtymä- ja painumatila	29
4 Arabianrannan rakentaminen	33
4.1 Salpaseinin toteutus 1997-2005	33
4.2 Rakennusten rakentaminen vuosina 2001-2013	38
4.3 Perustaminen alueittain	44
5 Arabianrannan geotekniset seurantamittaukset	49
5.1 Käytetyt mittausmenetelmät	49
5.2 Mittaustulokset	49
5.2.1 Painumat	49
5.2.2 Vaakasiirtymät	50
5.2.3 Vaurioituneet inklinometriputket	55
5.2.4 Muut mittaukset ja havainnot	58
5.2.5 Vaakasiirtymien ennusteet	59
6 Salpaseinärakenteen toimivuuden analysointi mittaustulosten perusteella	62
6.1 Alueellisen siirtymätilan arviointi	62
6.2 Maan siirtymänopeudet ennen salpaseinin rakentamista (1997)	62
6.3 Maan siirtymänopeudet rakentamisen jälkeen (2002–2014)	63
7 Salpaseinärakenteen FEM-mallinnus	75
7.1 Laskentapoikkileikkauksen valinta	75
7.2 Materiaalimallit, parametrit ja geometria	75
7.2.1 Parametrien määrittäminen	75
7.2.2 Stabiloidun salpaseinin parametrien keskimääräistäminen	75
7.2.3 Kolmioverkko ja lähtötilanne	76
7.2.4 Materiaalimallit	79
7.2.5 Rajapinnat	79
7.2.6 Paalut ja inklinometriputket	80

7.2.7	Rakentamisvaiheet mallinnuksessa	80
7.3	Laskentatulokset	81
7.3.1	Mitatut ja mallinnetut painumat ja vaakasiirtymät	81
7.3.2	Huokosvedenpaine	81
7.3.3	Salpaseinään kohdistuva leikkausvoima	83
7.4	Tulosten analysointi ja siirtymäennuste	84
7.4.1	Vaakasiirtymät	84
7.4.2	Pystysiirtymät	84
8	Laskentamallin herkkyystarkastelu	87
8.1	Salpaseinän yhteistoiminta paalutuksen kanssa	87
8.2	Salpaseinän pilarikaavio	90
8.3	Pilarien tavoitelujuus	91
8.4	Salpaseinän leveyden ja korkeuden suhde	94
8.5	Salpaseinän etäisyys rannasta	97
9	Jatkotutkimukset	100
10	Yhteenveto	102
	Lähdeluettelo	104
	Liiteluettelo	107

Merkinnät

A	[m ²]	poikkipinta-ala
A_{kok}	[m ²]	savimassan pinta-alan osuus kokonaispinta-alasta
A_{savi}	[m ²]	stabiloidun saven pinta-alan osuus kokonaispinta-alasta
A_{stab}	[m ²]	salpaseinän leveys pituussuuntaa vasten kohtisuorassa
B	[m]	lamellistabiloinnin leveys
F	[kN]	voima
I	[mm ⁴]	jäyhyysmomentti
E	[kN/m ²]	Youngin moduuli, elastisen käyttäytymisen kimmokerroin
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	tangentiaalijäykkyys ödometrikokeesta, PLAXIS-ohjelmaan tarvittu jäykkyysparametri Hardening soil –mallille
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	toistokuormitusjäykkyys käytännön muodonmuutostasolla, PLAXIS-ohjelmaan tarvittu jäykkyysparametri Hardening soil –mallille
E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	sekanttijäykkyys avoimesta kolmiaksaalikokeesta, PLAXIS-ohjelmaan tarvittu jäykkyysparametri Hardening soil –mallille
FOS_{ala}	[-]	kokonaisvarmuus salpaseinän alaosalle
$\text{FOS}_{\text{ylä}}$	[-]	kokonaisvarmuus salpaseinän yläosalle
K_0	[-]	lepopaine kerroin
P	[kN]	ulkoinen voima
Q	[kN]	leikkausvoima
R_{inter}	[-]	PLAXIS-ohjelman Interface-arvo, lukuarvo 0...1 välillä, joka kertoo, millä suuruudella kolmioverkon muutokset siirtyvät rakenteisiin (0 = ei ollenkaan, 1 = täysinäisinä)
R^2	[-]	sovitussuoran korrelaatiokerroin hyperbolisille siirtymäennustesovituksille
S	[mm]	painuma
a	[-]	pilarisuhde (lamellissa stabiloidun osuuden suhde kokonaispinta-alaan)
c'	[kN/m ²]	tehokas koheesio
c_k	[-]	vedenjohtavuuden muuttumiskerroin
d	[m]	halkaisija
e	[-]	huokosluku
k	[m/päivä]	vedenläpäisevyys
k_x	[m/päivä]	vedenläpäisevyys vaakasuunnassa
k_y	[m/päivä]	vedenläpäisevyys pystysuunnassa
q_{cm}	[kPa]	(yksiaksaalisen) puristuslujuuden keskiarvo
q_{eig}	[kPa]	(yksiaksaalista) ominaisarvoa edustava puristuslujuus
q_{min}	[kPa]	(yksiaksaalisen) puristuslujuuden satunnainen minimiarvo
s_u	[kN/m ²]	suljettu leikkauslujuus
t	[s]	aika
w	[%]	vesipitoisuus
z	[-]	syvyys merenpinnantasolta N43 korkeusjärjestelmässä
α	[°]	maanpinnan kaltevuus
γ	[kN/m ³]	maan tilavuuspaino
γ_{unsat}	[kN/m ³]	saturoimattoman tai osittain saturoituneen maan tilavuuspaino
γ_{sat}	[kN/m ³]	täysin saturoituneen maan tilavuuspaino
κ^*	[-]	kappa-tähti, PLAXIS-ohjelman jäykkyysparametri Soft Soil –mallille
λ^*	[-]	lambda-tähti, PLAXIS-ohjelman jäykkyysparametri Soft Soil –mallille
ν	[-]	Poissonin luku
σ	[kPa]	normaalijännitys
τ	[kPa]	leikkausjännitys

τ_{ala}	[kPa]	salpaseinän pilareiden alaosan suunnittelu(leikkaus)lujuus
$\tau_{\text{ala.suun}}$	[kPa]	salpaseinän alaosalle keskimääräistetty suunnittelulujuus
τ_{max}	[kPa]	leikkausjännityksen maksimi
$\tau_{\text{ylä}}$	[kPa]	salpaseinän pilareiden yläosan suunnittelu(leikkaus)lujuus
$\tau_{\text{ylä.suun}}$	[kPa]	salpaseinän yläosalle keskimääräistetty suunnittelulujuus
φ'	[°]	tehokas kitkakulma
ψ	[°]	dilataatiokulma

Lyhenteet

FOS	Kokonaisvarmuus (Factor of safety)
H:ki-geo	Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geotekninen osasto
HKR	Helsingin kaupungin rakennusvirasto
HS	Hardening Soil –materiaalimalli
Ksv	Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto
KTK (KTK-penger)	KTK Oy:n vanhan huoltoaseman kohdalle rakennettu penger Toukorannan puolella
MC	Mohr-Coulombin –materiaalimalli
NISA	FEM-mallinnusohjelmisto
PLAXIS	Geotekniikkaan soveltuva FEM-mallinnusohjelmisto
PRO 2004	Pohjarakennusohjeet 2004
RIL	Rakennusinsinööriliitto
SS	Soft Soil –materiaalimalli

1 Johdanto

Arabianrannan historia on monivaiheinen. 1800-luvun lopulla sinne perustettiin Arabian tehtaat ja valtaosa nykyisestä alueesta oli meren peitossa. Tehtaan kasvu aiheutti sen, että laituri- ja satama-aluetta laajennettiin täyttömaalla. Myöhemmin, 1900-luvun alkupuolelta 1980-luvun puoliväliin saakka Arabianrantaa täytettiin nykyiselleen läjittämällä sekalaista maamateriaalia, purkujätettä, posliinia ja muuta vastaavaa mereen lujuudeltaan heikon liejusavipohjan varaan. Pehmeää maapohjaa on enimmillään jopa yli 20 m paksuudelta ja kerros paksunee kiilamaisesti merelle päin. Täyttöjen vuoksi liejusavi- ja savikerrokset alkoivat painua, mutta kovan pohjan viettäessä mereen päin alueen maat alkoivat painumisen lisäksi myös siirtyä vaakasuuntaisesti kohden merta. 1980-luvun puolivälistä 1990-luvun lopulle Arabianranta oli puistoaluetta, kunnes Helsingin kaupunki päätti kehittää siitä asuinalueen. Edellä mainittu rakennushistoria aiheutti suuren haasteen asuinrakennusalueen perustamiselle, sillä täyttöjä ei ollut tehty alueen asuin- käyttöä silmälläpitäen.

Paksun pehmeikön ja täyttöjen vuoksi kaikki (rakennukset, kadut, pihat, kunnallistekniikka) piti perustaa paalujen varaan. Arabianrannan maat olivat kuitenkin niin suuressa vaakaliikkeessä (jopa 50 mm/vuosi), että niiden pelättiin aiheuttavan vaurioita paalurakenteille. Paalurakenteiden toimivuuden takaamiseksi maan vaakasiirtymät haluttiin pysäyttää ja sen vuoksi suunniteltiin salpaseinä. Seinämän pituus on 680 m ja se koostuu pilaristabiloiduista lamelliseinäistä. Tämän maan sisäisen tukiseinän rakentaminen aloitettiin koerakenteella (1997), jota instrumentoitiin monipuolisesti.

Salpaseinä rakennettiin useassa eri vaiheessa vuosina 1997–2005. Seinän valmistumisen jälkeen rakennettiin paalulaatta vaiheittain seinän länsipuolelle. Vuonna 1997 rakennettiin Arabianrannan eteläalueelle ensimmäinen osa salpaseinästä koerakenteena (osaksi lopullista salpaseinää) käyttäen Suomessa harvinaista syvästabiloinnin märkämenetelmää. Sen ei kuitenkaan havaittu soveltuvan erityisen hyvin suuren vesipitoisuuden omaaville saviille, joten myöhemmissä vaiheissa käytettiin märkämenetelmän sijasta kuivamenetelmää. Märkämenetelmällä saatiin aikaiseksi ensimmäinen osuus salpaseinästä, jota koestettiin rakentamalla salpaseinän viereen korkea ylipenger. Kuormituskoerakenteen käyttäytymistä seurattiin mittauksin. Lopputuloksena tästä havaittiin, että stabilointirakenne vähensi maan vaakasuuntaisia siirtymiä.

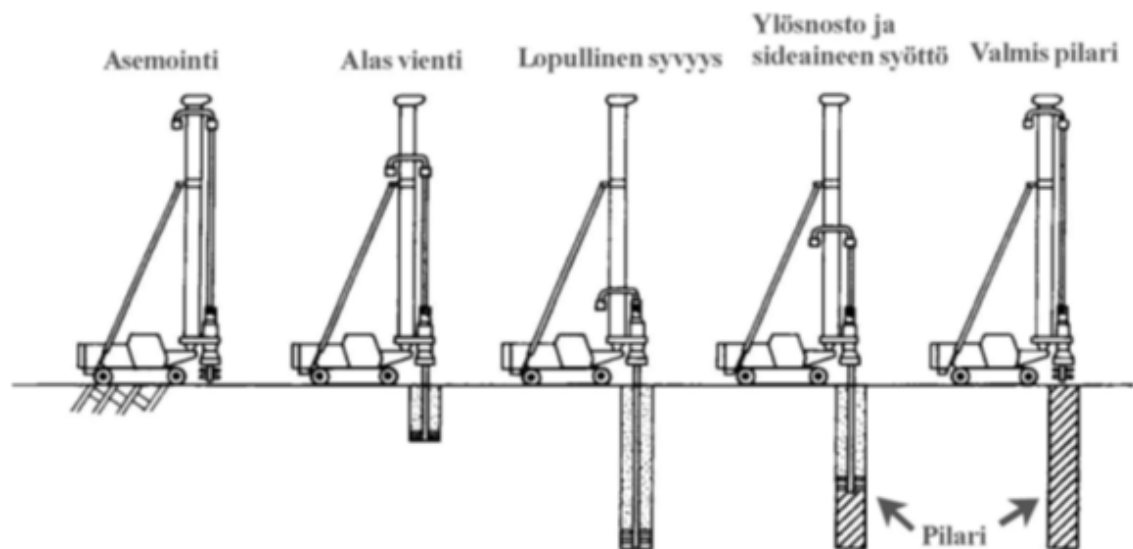
Arabianrannan alueelle on asennettu runsaasti erilaisia mittauslaitteita. Osasta sivusiirtymäputkia on saatu havainnot jopa 17 vuoden ajalta. Mittaustuloksia ei kuitenkaan ole analysoitu perusteellisesti ennen tätä diplomityötä. Tässä työssä tarkastellaan Arabianrannan pohjarakenteiden toimivuutta siitä näkökulmasta, miten salpaseinä on toiminut ja estääkö se maan vaakasuuntaiset liikkeet, jottei paaluille kohdistuisi liian suurta vaakasuuntaista kuormaa ja muodostuisi haitallisia taipumia. Lisäksi on myös tarkasteltu Arabianrannan salpaseinärakenteita herkkyyštarkastelun ja FEM-laskentamallin avulla.

2 Syvästabilointi ja kokemuksia lamellistabiloinnista

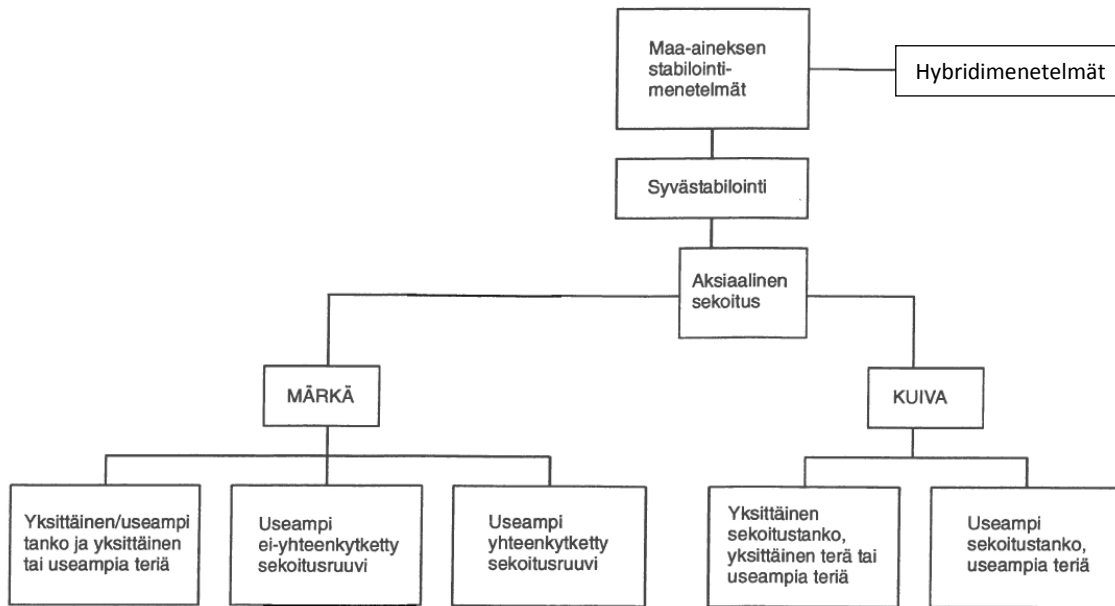
2.1 Pilaristabilointitekniikka

Pohjamaan stabiloinnilla tarkoitetaan pehmeiden maakerrosten vahvistusmenetelmää, jossa maahan painettavan sekoittimen avulla sekoitetaan sideaine niin, että maahan muodostuu lujittuneita pilareita tai blokkeja. Sideaine syötetään paineellisesti sekoittimella maaperään. Syvästabilointia käytetään lisäämään pohjamaan kantavuutta ja vakaavuutta sekä pienentämään painumia ja painumaeroja. (Aalto 1998.) Kuvassa 2.1. on esitetty syvästabiloinnin työvaiheet. Kone aloittaa sekoittamisen lujitettavan maakerroksen pohjasta alkaen ja koneen sekoitinkärkeä pyöritetään ja nostetaan hitaasti ylöspäin.

Syvästabilointi on jaettu standardissa SFS-EN 14679+AC (2005) Kuvan 2.2. mukaisesti kolmeen pääryhmään – märkämenetelmä, kuivamenetelmä ja hybridimenetelmä. Syvästabilointitekniikoiden ryhmittelyyn on esitetty kirjallisuudessa myös lukuisia muita luokitteluja. Suomessa on käytetty lähes yksinomaan kuivamenetelmää, jossa jauhemainen sideaine syötetään paineilmaa käyttäen (LiVi 2010). Keski-Euroopassa ja Japanissa yleisesti käytetyn märkämenetelmän kokemukset ovat Suomessa tiettävästi rajoittuneet toistaiseksi yhteen koerakenteeseen, joka toteutettiin Arabianrannassa v. 1997. Pilarin halkaisijana on Suomessa aiemmin käytetty yleensä 500...800 mm, mutta 1990-luvun alkupuolelta asti 600...700 mm (LiVi 2010). Pilarien maksimipituus nykyisellä kalustolla on tavallisimmin noin 18...20 m, mutta Suomessa on tehty jopa 24 m pitkiä pilareita.



Kuva 2.1. Syvästabiloinnin työvaiheet. (Paatema & Kangas 2003)



Kuva 2.2. Syvästabilointikoneiden yleinen luokittelu standardin SFS-EN 14679+AC (2005) mukaisesti. Alkuperäiskuvasta on esitetty vain yläosa ja kuvasta puuttuvat ns. ”hybridimenetelmät”, joihin ko. standardissa kuuluu mm. massastabilointi.

Syvästabiloinnin märkämenetelmässä sementti (tai muut sideaineet) sekoitetaan ensin veden kanssa, minkä jälkeen kyseinen massa syötetään paineellisesti maahan sekoittaen samalla maata ja sideainetta. Märkämenetelmä voisi soveltua hyvin kuivakuorisavelle sekä vesipitoisuudeltaan alhaisille saviille, sillä sideaine saisi silloin riittävästi vettä hydrataatioon. Toisaalta voidaan todeta, että märkästabiloinnin vaatimaa laitteistoa ei ole kehitetty Suomen olosuhteita varten.

Kuivamenetelmä toimii hyvin korkean vesipitoisuuden koheesiomaissa ($w > 50 \%$). Kuiva sideaine käyttää luonnonmaan kosteutta ja huokosvettä sementin hydrataatioon. Kun saven stabilointia on testattu laboratorio-olosuhteissa kuivamenetelmää käyttäen, ovat saavutetut lujuudet olleet tyypillisesti 10...50 kertaa alkuperäisen maan leikkauslujuus. (Keller Ground Engineering Pty Ltd. 2015.)

2.2 Pilaristabiloinnin mitoitusperusteita

Stabilointi lisää maapohjan lujuutta, sillä pilarien lujuus on yleensä 5...15-kertainen alkuperäisen pehmeän pohjamaan lujuuteen nähden. Koska pilarien laatu vaihtelee ja koska ne kestävät varsin heikosti muita kuin puristusrasituksia, stabiloinnin vaikutus stabiliteettiin voi kuitenkin jäädä tavoiteltua vähäisemmäksi ja epävarmemmaksi. Jos alkutilanteen vakavuus on heikko, maanpinta on kalteva tai penkereen sivulle tehdään kaivanto, stabiloinnin tehokkuus on huonompi ja riski stabiloinnin epäonnistumiseen kasvaa. Kun stabiloinnilta vaaditaan erityisen hyvää kestäkykyä vinoja kuormituksia vastaan, pilarit tehdään toisiinsa kiinni yhtenäisiksi rakenteiksi, jotka voivat olla seinämäisiä, blokkimaisia tai kaarevia. (LiVi 2010.)

Liikenneviraston Syvästabiloinnin mitoitusohjeessa (2010) käsitellään ns. kuivamenetelmällä tehtävää pilaristabilointia sekä massasyvästabilointia. Ohjeessa käsitellään pilareita, joiden leikkauslujuus on korkeintaan 200 kPa, mitoituslujuus ylittää enintään 15-kertaisesti pohjamaan lujuuden, halkaisija on 500...800 mm ja maksimipituus 20 m.

Näin ollen, mikäli ohjeen rajauksia luetaan kirjaimellisesti, kyseinen ohje ei käsittele Arabianrannan salpaseinärakennetta, jossa pilarihalkaisija on 900 mm ja jonka mitoituslujuus on huomattavasti suurempi.

2.3 Lamellistabiloinnin mitoitusperusteita

Lamellirakenteiden mitoituksesta on Liikenneviraston ohjeessa (2010) esitetty seuraavaa: Yhtenäisten lamellirakenteiden pilarit tulee sijoittaa niin, ettei niiden väliin jää rakenteen toimintaa heikentäviä rakoja. Pilarit tulee näin ollen suunnitella vähintään 50 mm toisiaan leikkaaviksi. Pitkät (yli 10 m) pilarit tai vaativiin olosuhteisiin sijoitettavat pilarit tulee suunnitella leikkaamaan toisiaan enemmänkin. Lamellirakenteiden mitoitus on esitetty monipuolisemmin mm. norjalaisissa, eurooppalaisissa ja pohjois-amerikkalaisissa ohjeissa (Norsk Geoteknisk Forening 2014; SFS-EN 14679+AC 2005; Federal Highway Administration 2013).

Standardin SFS-EN 14679+AC (2005) mukaan rivissä olevien pilarien päällekkäislimitys vaikuttaa niin, että pilariseinämän taivutuslujuus kasvaa. Kaatuminen vältetään lisäämällä pilaririvien pituutta. Pilareiden päällekkäislimityksen alueella on tärkeää, että limitys on riittävän suuri ja että leikkaavien pilareiden pystysuoruus varmistetaan koko pituudeltaan. On esitetty, että päällekkäislimittyvillä alueilla saavutetut stabiloidun maan aineksen leikkauslujuudet ovat yleensä pilaririvien vaakasuoran lujuuden määräävä tekijä. Pilarien asemointia on käsitelty tarkemmin luvussa 8.2.

Lamellistabiloitua seinämää voidaan käyttää esim. penkereen, leikkauksen tai rantarakenteen stabiliteetin parantamiseen, sivusiirtymien estämiseen, ponttien alapäiden tukemiseen, tärinän vaimentamiseen sekä muihin vastaaviin tarkoituksiin. Arabianrannan tapauksessa lamellistabilointia (salpaseinää) on käytetty lähinnä sivusiirtymien estämiseen sekä stabiliteetin parantamiseen merelle päin sekä paalulaatan alle.

2.4 Rakennettuja lamellistabilointeja (salpaseiniä) Suomessa

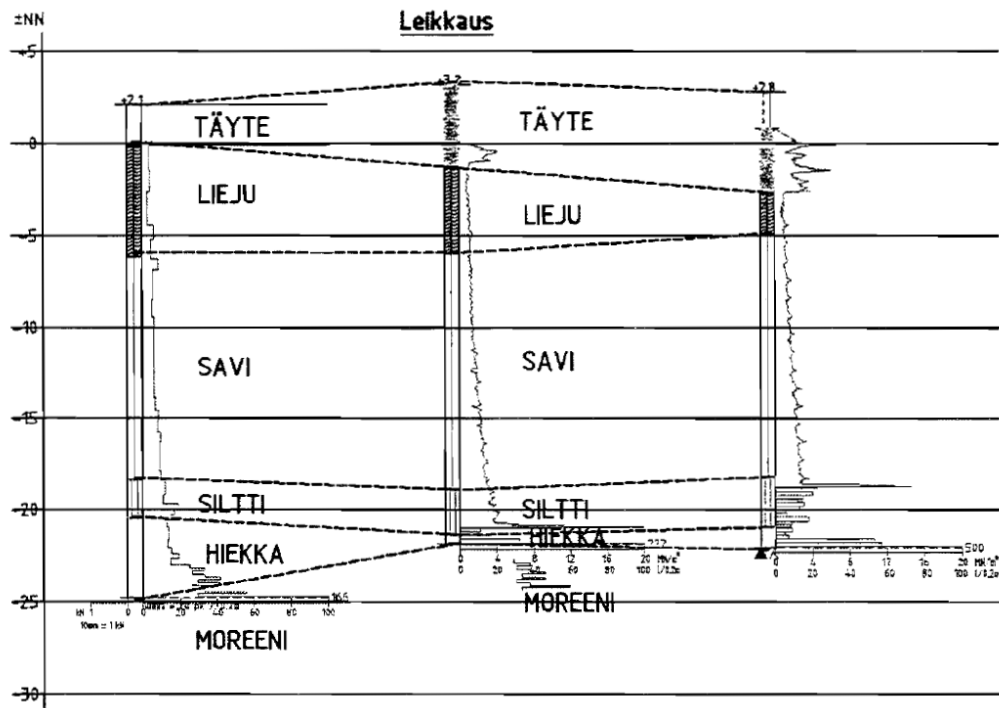
2.4.1 Pikku-Huopalahti, Helsinki

Pikku-Huopalahden ja Arabianrannan maaperässä ja maankäytön historiassa on paljon yhteistä. Molemmat alueet ovat savikolla ja molempia on aikanaan käytetty ylijääm maiden ja pilaantuneiden maiden sijoituspaikkana. Kuvassa 2.3. näkyy tyypillinen poikkileikkaus Pikku-Huopalahden maaperän pohjasuhteista. Taulukossa 2.1. on esitetty Pikku-Huopalahden arvioidut maakerrokset sekä niiden geoteknisiä parametreja.

Pikku-Huopalahdessa on käytetty salpaseinärakennetta. Salpaseinä kulkee rannan suunnasta ja sijaitsee lähellä vesialueen rajaa. Salpaseinän sijainti on esitetty Kuvassa 2.4. Stabilointipilarit Pikku-Huopalahden Tilkan alueen rantavyöhykkeen kohdalle tehtiin vuosina 1988–89. Paciuksenkadun alueen rantavyöhykkeen stabilointipilarit tehtiin selvästi myöhemmin, vuonna 1994. (Juntunen & Korhonen 2002.) Salpaseinän itärannan etäläosan pilarikaavio on esitetty Kuvassa 2.5. Sideaineena pilareissa käytettiin kalkin ja yleisimentin 1:1 seosta ja pilareiden halkaisija oli 800 mm.

Pikku-Huopalahden alueelle asennettiin runsaasti mittausinstrumentteja, mutta suuri osa niistä on tuhoutunut pengertäytöjen tai rakentamistoimenpiteiden yhteydessä sekä ilkvallan seurauksena. Alueen sivusiirtymiä on arvioitu Juntunen & Korhosen (2002) laa-

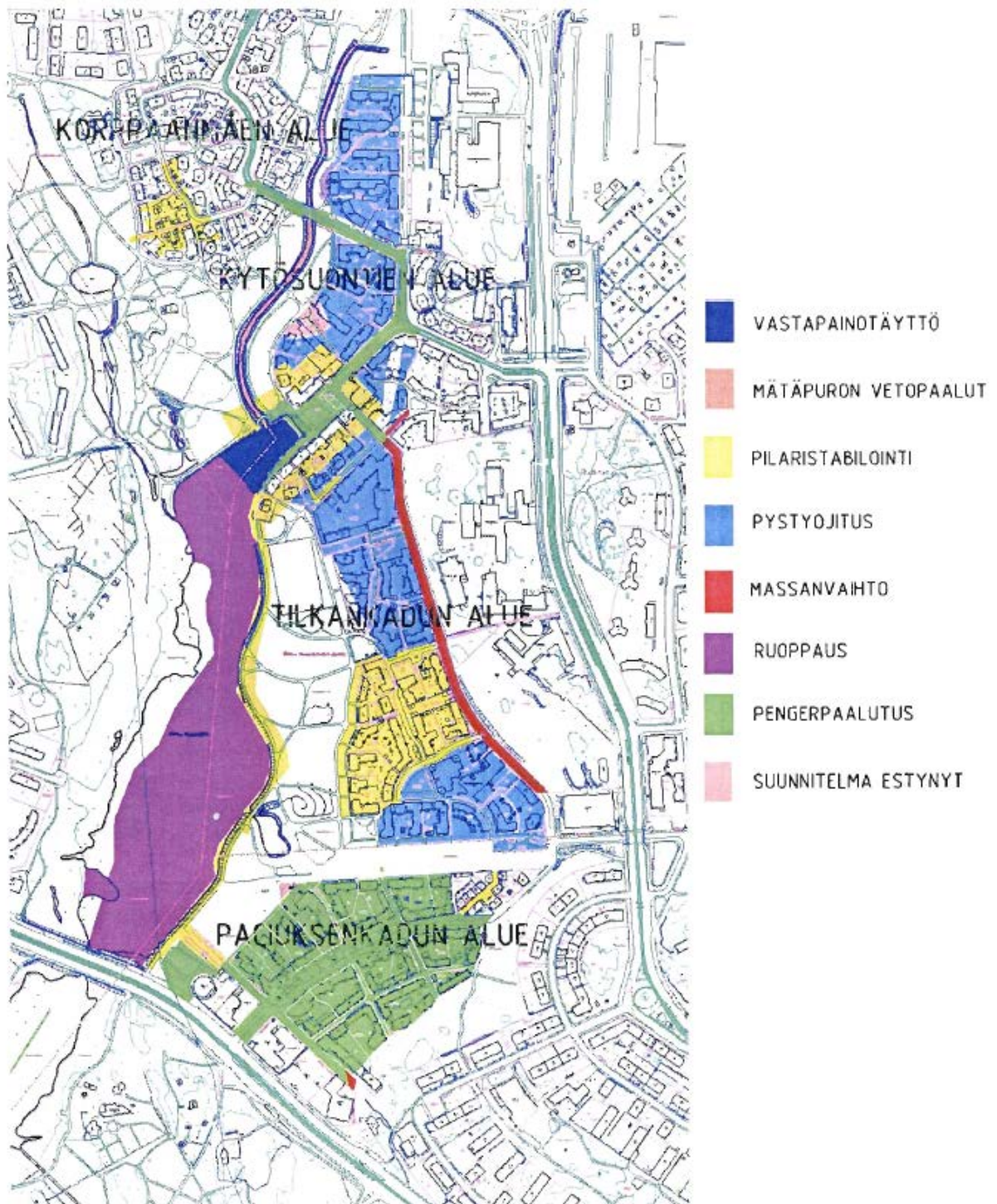
timassa selvityksessä. Sivusiirtymämittausten perusteella siirtymät Pikku-Huopalahden ranta-alueella vaihtelivat 9...805 mm välillä. Paciuksenkadun ranta-alueella inklinometriputkista mitatut sivusiirtymien maksimit olivat välillä 9...73 mm eli putket ovat pysyneet melko hyvin paikallaan. Sen sijaan keski- ja pohjoisalueen rantavyöhykkeellä mitatut maksimisivusiirtymät ovat vaihdelleet 268...805 mm välillä. Suuri ero sivusiirtymien suuruudessa Paciuksenkadun rantavyöhykkeen ja Tilkan alueen rantavyöhykkeen välillä selittyy sillä, että Paciuksenkadun salpaseinäosio tehtiin vankemmalla pilaroinnilla. (Juntunen & Korhonen 2002.)



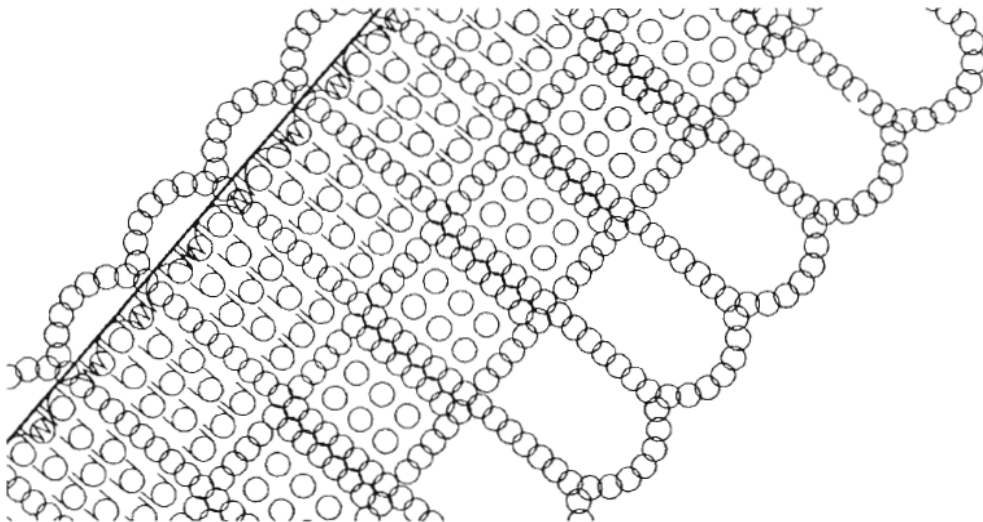
Kuva 2.3. Tyypillinen maan kerrosrakenne Pikku-Huopalahdessa. (Juntunen & Korhonen 2002)

Taulukko 2.1. Pikku-Huopalahden maalajikerrokset ja niiden geotekniset parametrit. (Juntunen & Korhonen 2002)

Maalaji	Kerroksen paksuus	Tilavuuspaino	Leikkauslujuus	Vesipitoisuus
	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[%]
Täyttö	0..7	18	---	---
Lieju	2..8	12...14	2...10	100...190
Savi	0...15	14...17	6...35	50...120
Siltti	0...6	18	---	---
Hiekka	0...6	---	---	---
Moreeni	---	---	---	---



Kuva 2.4. Pikku-Huopalahden esirakentamisaalueet. Keltaisella värillä näkyy stabilointipilareista rannan myötäisesti suunniteltu salpaseinä. Violetin väri alue kuvastaa ruoppausta ja osoittaa siten vesialueen sijainnin. (Juntunen & Korhonen 2002)



Kuva 2.5. Pikku-Huopalahden itärannan etäläosan pilarikaavio. (Juntunen & Korhonen 2002)

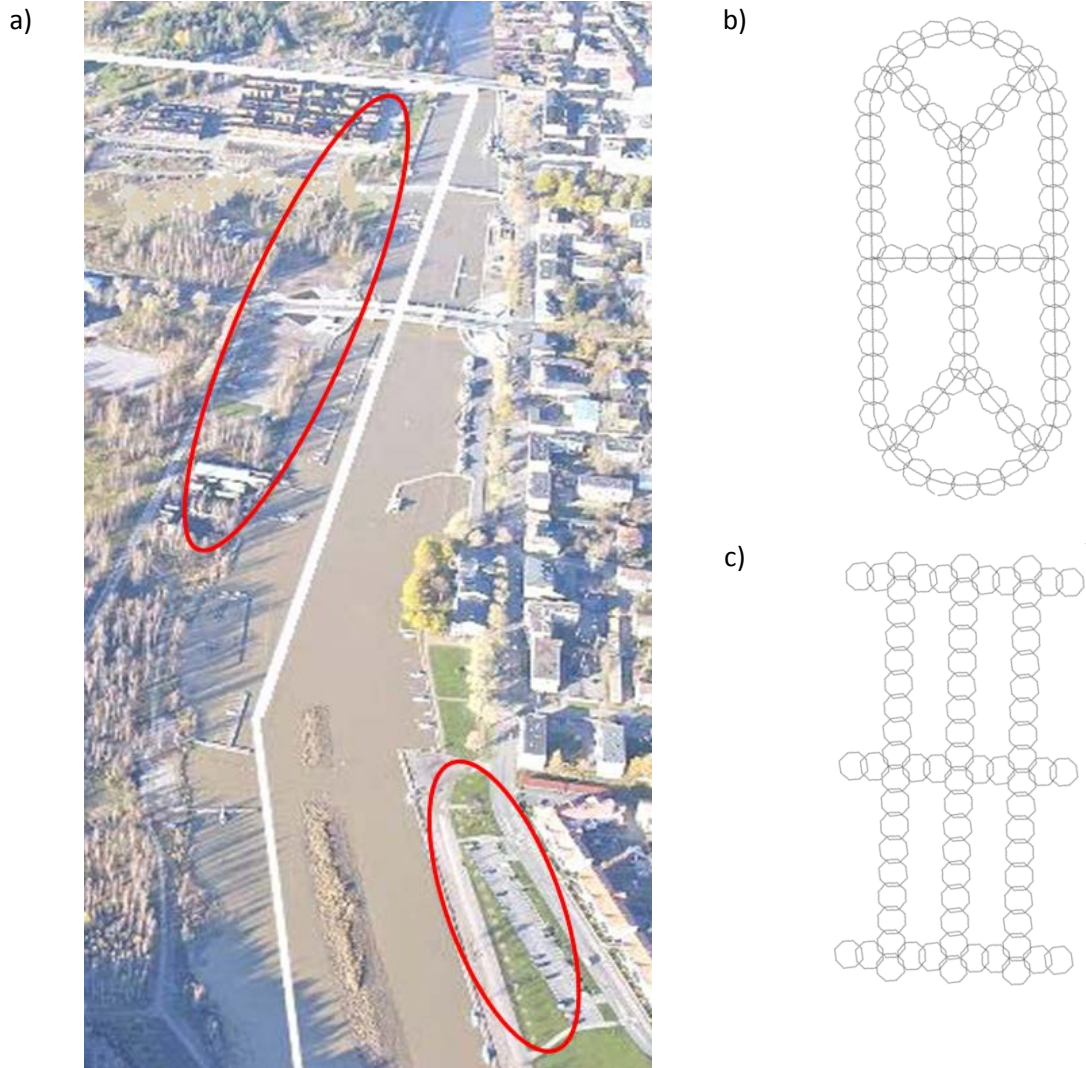
2.4.2 Itä- ja länsiranta, Porvoo

Porvoossa Porvoonjoen itä- ja länsirannalle on 1990- ja 2000-luvulla tehty lamellistabiloituja seinämiä ranta-alueen stabiliteetin varmistamiseksi ja sivusiirtymien estämiseksi. Kuvassa 2.6. näkyy, millä alueilla lamellistabilointia on käytetty. Lisäksi länsirannalla on käytetty yksittäisiä pilareita katujen pohjanvahvistuksena. Alueella on toteutettu myös kaksi ns. pyörrepaalukaivantoa pumppaamojen kaivantojen tuentana.

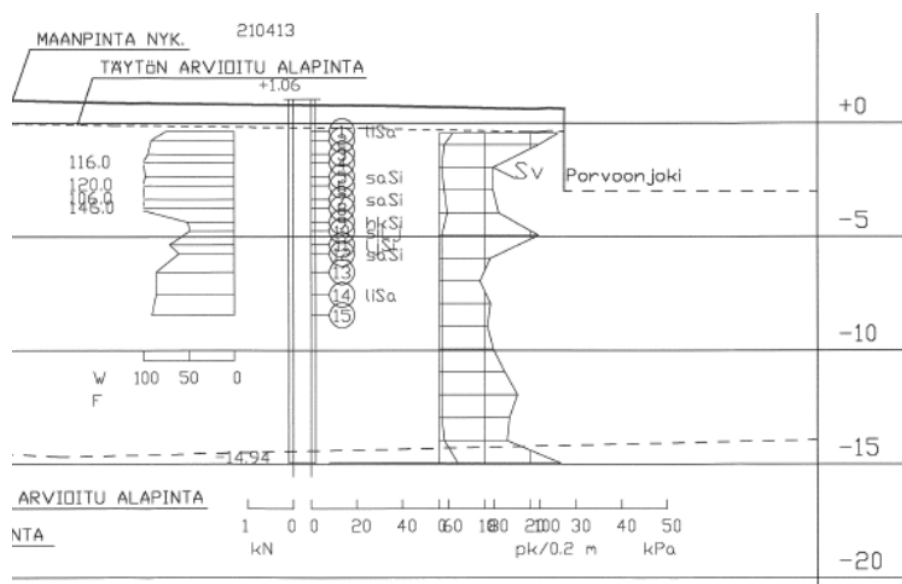
Kopposen insinööritoimistossa (1996) on selostettu Porvoon länsirannan pohjanvahvistusta (vaihe 0, länsirannan pohjoisosan kennostabilointi). Tavoitteena oli saada rakennettavalle rantamuurille riittävän vakaat perustamisolosuhteet. Rantavyöhykkeen pohjanvahvistuksen tavoitteina oli rannan riittävä stabiliteetti sekä maa-alueiden painumien rajoittaminen siten, että rannan lähistölle kaavoitetuille alueille riittää tonttikohtainen pohjanvahvistus.

Pohjamaa Porvoonjoen länsirannalla on pehmeää (vaihe 0). Täyttöjen ja kuivakuorisavikerroksen alapuolella on 0...3,5 m liejusavea, jonka alla on lihavaa savea. Paksuimmillaan pehmeitä maakerroksia on n. 15 m. Saven lujuusominaisuudet on selvitetty laboratoriokokeilla. Niiden perusteella saven suljettu leikkauslujuus on 8...16 kPa. Tehokasta koheesiota on havaittu näytteissä 2 kPa. Tehokas kitkakulma on ollut kolmiak-siaalikokeiden perusteella 23° . Saven tilavuuspaino on vaihdellut 13...15 kN/m³ välillä. E_{u50} -moduuli on 700...3500 kPa ja E_d -moduuli 700 kPa. Poissonin luku savelle on vaihdellut välillä $\nu = 0,15...0,27$. (Kopponen 1996.) Eteläisemmillä alueilla sekä itärannan eteläosassa pohjaolosuhteet ovat samantyyppiset savikerroksen paksuuden vaihdellessa. Alueelle tyypillinen pohjatutkimusleikkaus on esitetty Kuvassa 2.7.

Länsirannan vaiheessa 0 tehtyjen stabiloitavuuskokeiden perusteella syvästabiloinnin mitoitusleikkauslujuutena liejuisessa savikerroksessa voidaan käyttää ainakin 100 kPa. Pilarikaaviossa kennojen leveys on ollut n. 2...3 m ja pituus n. 12...14 m. Stabilointipilarien halkaisija on ollut 800 mm. (Kopponen 1996.) Länsirannan eteläisemmillä alueilla lamellipilareilla on käytetty suurempaa leikkauslujuutta eli 120...150 kPa (Forsman 2009).



Kuva 2.6. Porvoonjoen itä- ja länsiranta. a) 1990- ja 2000-luvulla toteutettujen lamellistabilointien sijainnit. b) Vaiheen 0 kennostabiloinnin pilarikaavio puutalokorttelin kohdalla länsirannan pohjoisosassa. c) Länsirannalla vaiheissa 1-5 sekä itärannalla käytetty lamellistabiloinnin pilarikaavio. (Forsman 2009)



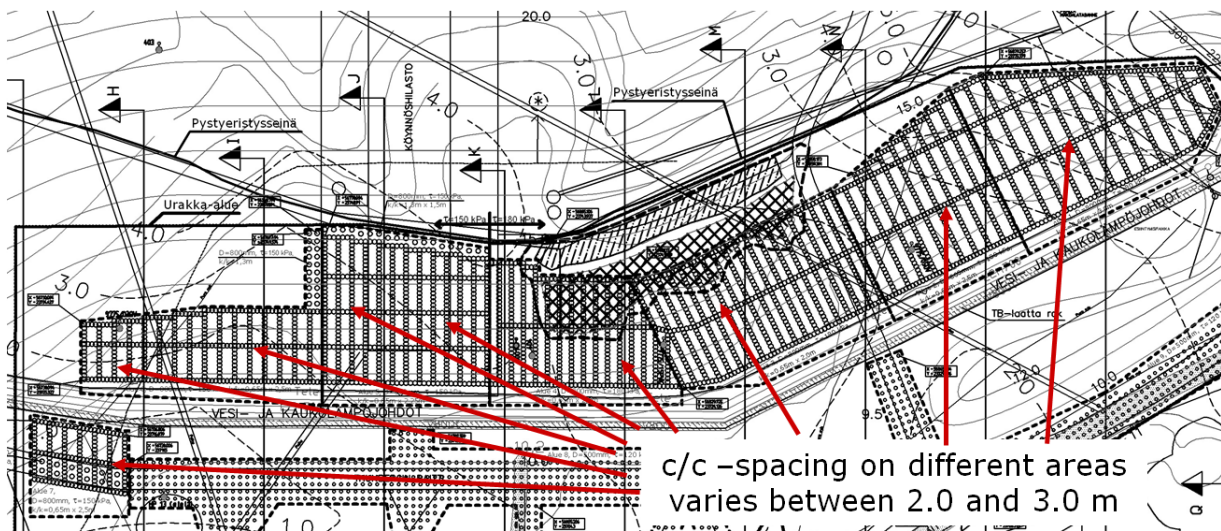
Kuva 2.7. Porvoo, länsiranta. Tyypillinen pohjatutkimusleikkaus. (Forsman 2009)

2.4.3 Myllypuro, Helsinki

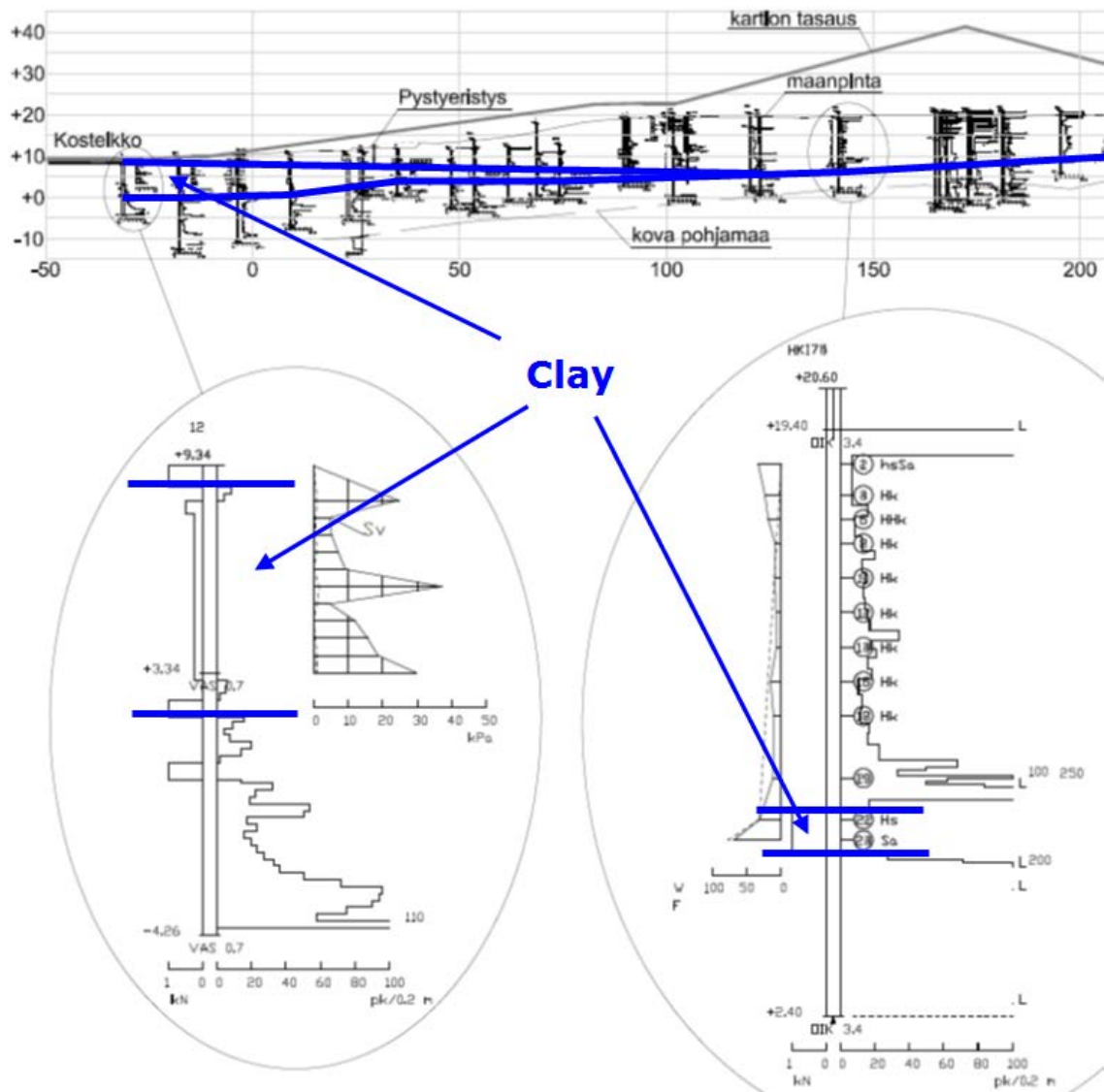
Myllypuron entisen kaatopaikan eteläpuoleisessa luiskassa on käytetty lamellistabilointia kaatopaikan stabiliteetin varmistamiseksi. Entisen kaatopaikka-alueen eteläosa ulottuu savialueelle ja alueen eteläluiskan varmuus liukupintasortumaa vastaan oli riittämätön ilman pohjanvahvistustoimenpiteitä (Kuva 2.9.). Pystyeristysseinällä ympäröidyn kaatopaikan pohjalla on savikerros, jota ei saanut puhkaista, joten pohjanvahvistusrakenne oli toteutettava pystyeristysseinän ulkopuolelle. Teknistaloudellisen vertailun jälkeen todettiin, että lamellistabilointi on ainut realistinen vaihtoehto. (Karppinen 2006.) Lamellistabilointi toteutettiin vuonna 2006 (Kuva 2.8.).

Lamellistabilointi onnistui lujuuden ja toteutuksen puolesta hyvin, mutta alueen itäpään valvontakairauksista havaittiin, että pilarien alapäävät eivät ulottuneet riittävästi savikerroksen alapuoliseen kitkamaakerrokseen, vaan stabilointisekoittimen kärki pysähtyi kiviin, ja lamellin sekä kitkamaakerroksen väliin jäi heikkousvyöhyke. Laajan vaihtoehdotarkastelun jälkeen lamellistabiloinnin tartunta alapuoliseen kitkamaakerrokseen toteutettiin sydänteräspaaluilla ($d=100$ mm), joita porattiin 110...120 kpl lamellipilarien keskikohdan läpi kitkamaakerrokseen. Lisäksi pilarin ja paalun väli betonoitiin. Sydänteräspaalut mitoitettiin siten, että ne ottavat vastaan lamellistabiloinnin alapinnassa vaikuttavan liukupinnan leikkausvoiman, joka aiheutuu pohjoispuolen täytöistä. (Ramboll 2008.)

Alueella on kaikkiaan 6 kpl inklinometriputkia, joita mitattiin viimeksi syksyllä 2014. Mittaustulosten perusteella inklinometriputkissa ei ole tapahtunut käytännössä siirtymiä rakentamisen jälkeen.



Kuva 2.8. Myllypuron entinen kaatopaikka. Lamellistabiloinnin pilarikaavio. (Forsman & Koivisto 2006)



Kuva 2.9. Myllypuron entinen kaatopaikka. Pohjatutkimusleikkaus etelä-pohjoissuunnassa. Lamellistabiloidun seinämän sijainti on leikkauskuvassa pystyeristysseinän vasemmalla puolella. (Forsman & Koivisto 2006)

2.4.4 Tärinänvaimennusseinät

Lamellistabilointia on käytetty Suomessa useissa kohteissa tärinänvaimennusrakenteena rajoitettaessa junatärinän leviämistä. Suomessa toteutettuja kohteita ovat mm. (Koivisto et al. 2005; Koivisto et al. 2009):

- Koria
- Ahjo, Kerava
- Raunistula, Turku
- Koivukylä, Vantaa

Ulkomailla lamellistabiloituja seiniä on käytetty tärinänvaimennukseen mm. seuraavissa kohteissa:

- Ledsgård, Sweden, Holm et al. 2002
- Kåhög, Sweden, With et al. 2004
- Liersvigen, Norway, Hildebrand 2003
- Frillesås, Sweden, LCM 2002

3 Arabianrannan olosuhteet

3.1 Maaperän luonnontilaiset olosuhteet

Tämän työn tarkastelualue Arabianrannassa rajoittuu etelässä Rajasampaan liikuntapui-
toon, idässä merenrantaan (rantaviiva 2013), pohjoisessa Kaanaankatuun sekä lännessä
Arabiankatuun.

Ensimmäisellä rakennusalueella on rannalta alkaen ollut merenpohjassa hyvin pehmeä
liejusavikerros, jonka paksuus kasvaa rannalta ja kalliosaaresta merelle päin. Liejusaven
alla on samalla tavoin kiilamaisesti kasvava savikerros. Täyttöalueen nykyisen rantavii-
van kohdalla liejun alapinta on syvimmillään tasossa noin -15 ja vastaavasti saven ala-
pinta syvimmillään tasossa noin -25. Näiden pehmeiden maakerrosten alla on ohuehko
silttikerros, joka muuttuu alaspäin mentäessä hiekaksi. Syvemmällä on moreenia. (Fun-
dus Oy 2000b.)

Savi- ja liejukerrokset ovat paksuimmillaan lähellä sekä salpaseinän alku- että loppu-
päästä (etelä- ja pohjoispäästä). Kyseisillä alueilla (alueet 1 ja 5) savikon paksuus on jopa
yli 20 metriä. Salpaseinän keskivaiheilla (alueet 2-4) savikon paksuus vaihtelee 10–15
m välillä.

Tampereen teknillisen korkeakoulun geotekniikan laboratoriossa on maanäytteistä selvi-
tetty Arabianrannan savien parametrit. Näytteistä määriteltiin aluksi tilavuuspainot, ve-
sipitoisuudet sekä kartiolujuudet. Näiden tietojen ja alueelta tehtyjen vakavuuslaskel-
mien perusteella valittiin näytesyvyudet, joista tehtiin kolmiaksiaalikokeet. Kuvassa 3.1.
on esitetty, miltä paikoilta kolmiaksiaalikokeissa tutkitut maanäytteet on otettu. Näyte-
piste 2 sijaitsee nykyisen rakennusalueen 2 paikalla ja piste 3 rakennusalueella 6. Tau-
lukoissa 3.1.-3.5. on esitetty kolmiaksiaalikoetulosten perusteella määritetyt parametrit.
Näytteet konsolidoitiin isotrooppisesti ja leikattiin suljettuina. (Länsivaara & Hartikai-
nen 1998.)

Näytteiden humuspitoisuuden erot olivat huomattavan suuret eri näytteenottopisteiden
välillä. Pisteiden 1 ja 3 liejusavien suuri humuspitoisuus on lujittanut näytteitä kolmiak-
siaalikokeissa. Puristamalla tehty suljettu kolmiaksiaalikoe saattaa antaa liian hyviä lu-
juusarvoja humuspitoisille saviille etenkin pitkien liukupintojen osalta. Huomattavaa on
myös se, että liejusavien lujuus tulisi redusoida, mutta liejupehmeikölle yleistä
redusointimenettelyä ei ole kehitetty, sillä liejusaven varaan ei yleensä ole tapana raken-
taa. Näytteissä muodonmuutokset hallitsivat näytteiden käyttäytymistä kuormitusko-
keissa, eikä näytteiden yksiselitteistä murtumislujuutta voitu määrittää. Näytetutkimus-
ten perusteella Arabianrannan liejusavet käyttäytyivät muutenkin ”hankalasti” - ödomet-
rikokeiden perusteella konsolidoituminen ja huokosvedenpaineen poistuminen tapahtui
erittäin hitaasti. (Länsivaara & Hartikainen 1998.)

Kuvassa 3.2. on esitetty Arabianrannan rakentamisalueen 2 pohjamaalle määritettyjä
indeksiominaisuuksia ja parametreja (Puumalainen & Vepsäläinen 1997). Kuvassa 3.11.
ja 3.12. näkyvät täyttöjen sekä saven alapinnan tasokäyrästöt. Savi paksunee kiilamai-
sesti merelle päin mentäessä. (Vähäaho 1997.)

Taulukko 3.1. Arabianrannan näytteenottopiste 2, kolmiakσιαalikoesarja syvyydeltä 5,8...6,3 m. (Länsivaara & Hartikainen 1998)

Syvyyys [m]	Maalaji	Humus [%]	Alku- tila- vuuspaino [kN/m ³]	Konsol. jälk. tilavuuspaino [kN/m ³]	Alku- vesipitoisuus [%]	Sellipaine [kPa]	ΔV kons. [cm ³]
5,80	liSa	0,9	14,8	15,9	77,0	20	38,1
6,16	laSa	1,1	15,4	17,2	73,3	40	51,7
6,33	liSa	1,3	14,4	16,0	89,5	70	56,2

Taulukko 3.2. Arabianrannan näytteenottopiste 2, kolmiakσιαalikoesarja syvyydeltä 8,3...8,6 m. (Länsivaara & Hartikainen 1998)

Syvyyys [m]	Maalaji	Humus [%]	Alku- tilavuuspaino [kN/m ³]	Konsol. jälk. tilavuuspaino [kN/m ³]	Alku- vesipitoisuus [%]	Sellipaine [kPa]	ΔV kons. [cm ³]
8,26	liSa	1,7	14,6	15,5	89,4	20	33,1
8,43	liSa	1,6	14,1	15,2	104,5	50	44,8
8,60	liSa	1,7	14,1	15,8	104,4	80	58,7

Taulukko 3.3. Arabianrannan näytteenottopiste 3, kolmiakσιαalikoesarja syvyydeltä 8,8...10,7 m. (Länsivaara & Hartikainen 1998)

Syvyyys [m]	Maalaji	Humus [%]	Alku- tila- vuuspaino [kN/m ³]	Konsol. jälk. tilavuuspaino [kN/m ³]	Alku - vesipitoisuus [%]	Sellipaine [kPa]	ΔV kons. [cm ³]
8,83	saLj	9,8	14,0	14,2	102,4	20	9,0
9,00	saLj	10,1	14,0	14,2	103,3	50	13
10,66	saLj	9,4	13,7	14,5	115,1	90	34,6

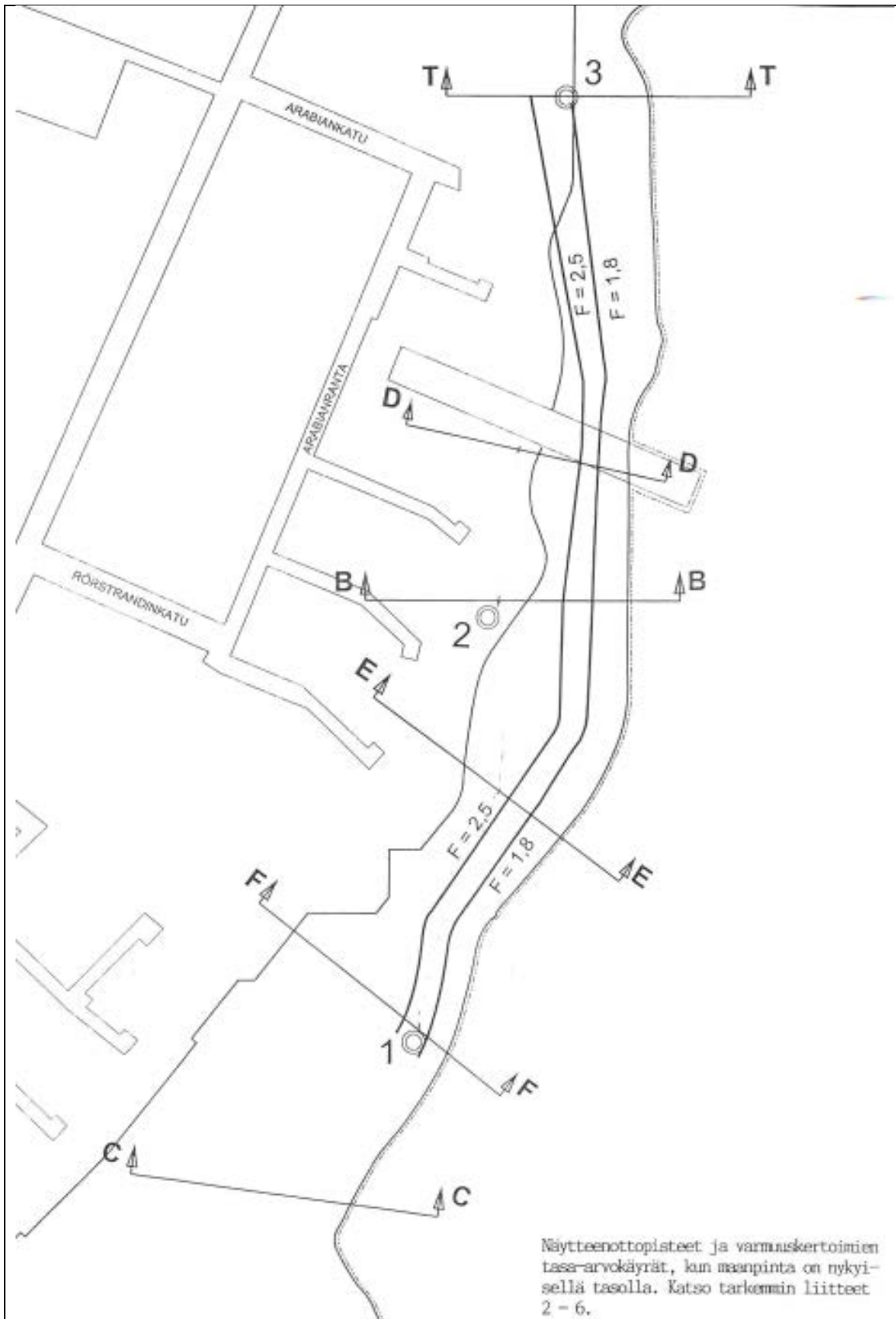
Taulukko 3.4. Arabianrannan näytteenottopiste 3, kolmiakσιαalikoesarja syvyydeltä 12,8...14,8 m. (Länsivaara & Hartikainen 1998)

Syvyyys [m]	Maalaji	Humus [%]	Alku- tila- vuuspaino [kN/m ³]	Konsol. jälk. tilavuuspaino [kN/m ³]	Alku- vesipitoisuus [%]	Sellipaine [kPa]	ΔV kons. [cm ³]
12,83	ljSa	4,9	15,2	15,3	75,8	30	6,7
13,00	ljSa	4,3	15,3	15,8	79,6	60	15,5
14,83	ljSa	1,1	15,4	16,4	73,6	110	30,9

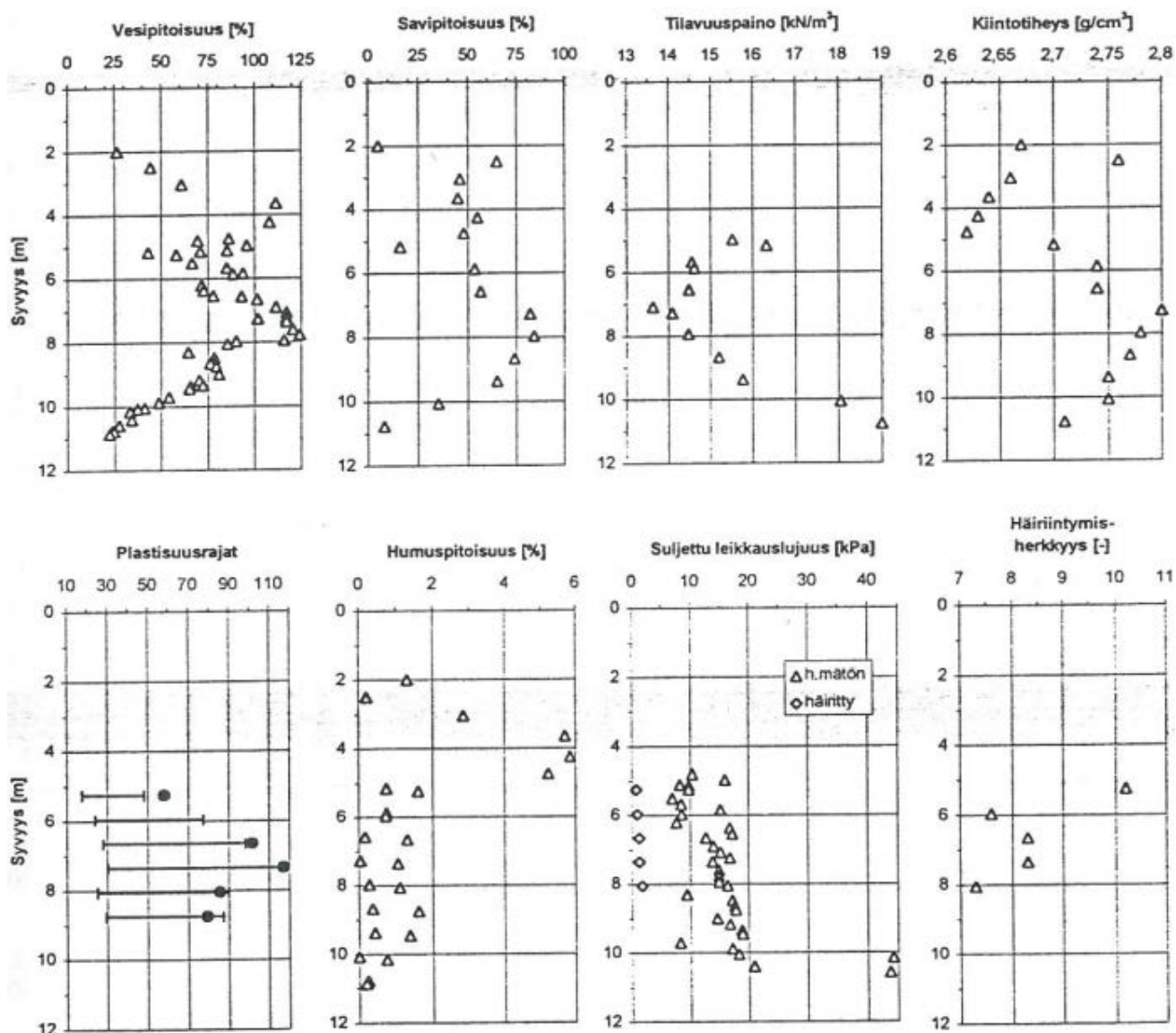
Taulukko 3.5. Arabianrannan kolmiakσιαalikoetuloksista määritetyt tehokkaat lujuusparametrit. (Länsivaara & Hartikainen 1998)

	Syvyyys [m]	φ' [°]	c' [kPa]
Piste 1	5,13 – 5,66	22,4	0
Piste 1	11,03 – 11,86	23,9	4,4
Piste 2	5,80 – 6,33	18,6	0
Piste 2	8,6*	23,6	0
Piste 3	8,83 – 10,66	24,9	8,3
Piste 3	12,83 – 14,83	24,7	0

* = Vain yksi onnistunut koe, kaksi muuta oli ilmeisesti pahasti häiriintyneitä.



Kuva 3.1. Arabianranta. Kolmiaksaalikokeilla tutkittujen maanäytteiden ottopaikat ja aluerajaus, jossa stabiliteettilaskelmilla määritetty varmuus liukupintasortumaa vastaan on $< 1,8$, $1,8 \dots 2,5$ ja $> 2,5$ maanpinnan tason ollessa 1990-luvun lopulla vallinneella tasolla. (Länsivaara & Hartikainen 1998)



Kuva 3.2. Arabianrannan alueelta 2 otettujen näytteiden laboratoriossa määritettyjä ominaisuuksia: vesipitoisuus, savipitoisuus, tilavuuspaino, kiintotiheys, plastisuusrajat, humuspitoisuus, suljettu leikkauslujuus ja häiriintymisherkkyys. (Puumalainen & Vepsäläinen 1997)

3.2 Arabianrannan täyttöhistoria

Ilmavalokuvasarjasta (Kuvat 3.3. – 3.9.) nähdään, että Arabianrannan rakennusalueet 1–6 ovat vanhaa merenpohjaa ja kyseinen alue on täytetty ajan saatossa nykyiselleen. Viimeiset maataytöt on tehty v. 1986 kaksoispenkereen rakentamisen yhteydessä, eikä rantaviivan paikka ole enää sen jälkeen muuttunut (Fundus Oy 2000b). Kuvissa näkyy keltaisella viivalla vuoden 2013 rantaviiva. Vihreä ja sininen viiva kertovat vuosien 1874 ja 1900 rantaviivojen sijainnit (Toroi 2007).

Arabianrannan alkuperäinen tila ennen rakentamista

1800-luvun lopulla luonnontilainen rantaviiva (Kuvassa 3.3. vihreä viiva) sijaitsi paikalla, jossa nykyisin kulkee Arabiankatu. Ensimmäisen ja toisen rakennusalueen rajan kohdalla sijaitsi alkuaan kapealla ja matalalla maakannaksella mantereeseen yhdistynyt kalliosaari (Hirsipuunkallio), jossa avokallion pinta oli ylimmillään tason +2,0 yläpuo-

lella. Tätä kalliosaarta on käytetty hyväksi Arabiantehtaiden myöhemmissä sataman rakennusvaiheissa. Luonnontilainen vesisyvyys on kasvanut hyvin loivasti rannalta merelle päin. Rantaviivan kohdalla meren pohja on ollut tasossa -1,0...-1,5. (Fundus Oy 2000b.)

Arabiantehtaiden satamavaihe

Arabiantehtaiden alkuvaiheessa Hirsipuunkallion kärjessä sijaitsi kaksi pistolaituria ja kalliosaarekkeen alue oli satamakenttänä. Arabianrannan rakennusalueen 1 pohjoisosassa, lähellä rakennusalueen 2 rajaa sijaitsivat pistolaiturit, joiden paikat näkyvät mm. Kuvasta 3.3. (tummansinisen viivan ulkoneva osa).

Vuoteen 1937 mennessä oli satamakenttää laajennettu etelään ja merelle päin niin, että myös em. pistolaitureiden kohdat jäivät täyttöalueelle. Myös Hirsipuunkallion pohjoispuolella olevaa vesialuetta täytettiin ja sinne rakennettiin uusi pistolaituri sekä varastorakennus. (Fundus Oy 2000b.) Edellä mainitun uuden pistolaiturin paikka näkyy Kuvassa 3.4. Arabianrannan 3. rakennusalueen keskivaiheilla.

Täyttötilanne 1970-luvun lopulla

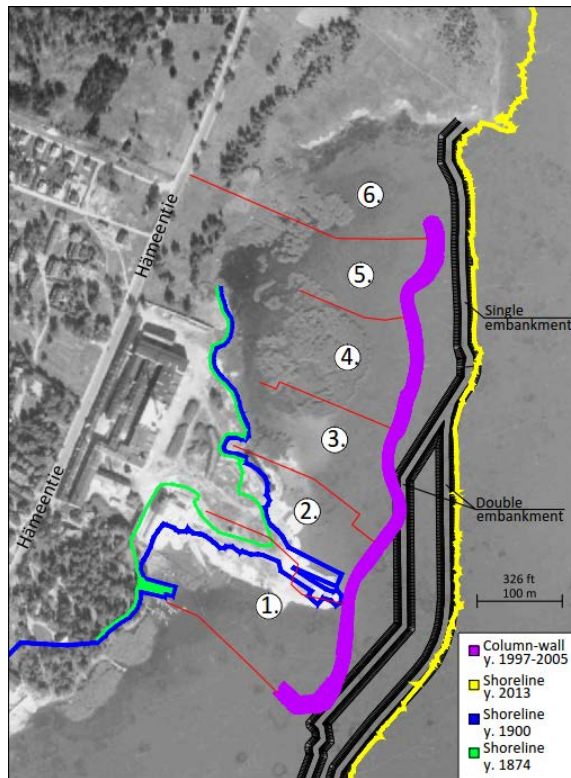
Ranta-aluetta täytettiin 1960-luvulle saakka. Vuosina 1963–65 tehtiin päätypengerryksenä mereen louhepenkereet ns. KTK-penkereen ja Hirsipuunkallion täyttöalueen silloisen eteläreunan väliselle alueelle. Tämän jälkeen penkereiden välit täytettiin. Myös Hirsipuunkallion pohjoispuolella (rakennusalueilla 2–6) jatkettiin täyttöä vuoteen 1977 saakka. (Fundus Oy 2000b.)

Yksöispenkereen täyttövaihe 1983-1984

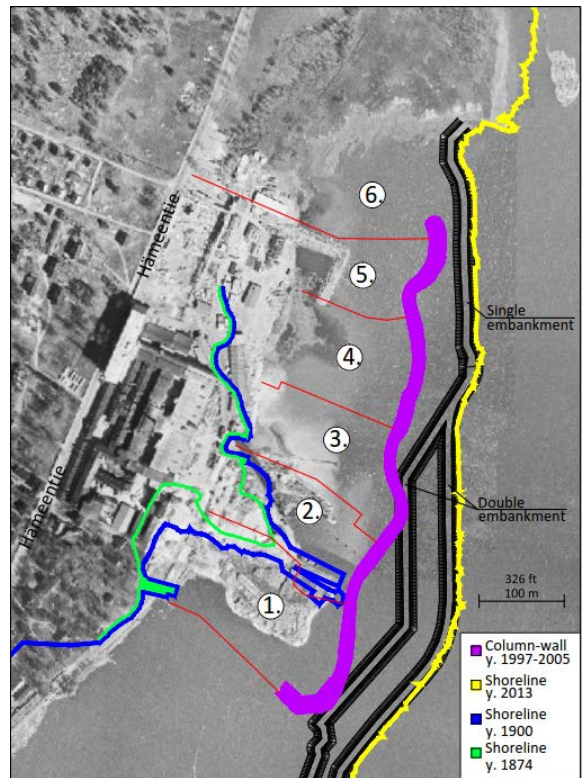
Arabianrannan pohjoisalueen ranta on tehty käyttäen geolujitettua yksöispengertä vuosina 1983-1984 (Leppänen 1989). Pirinen (1984) on käsitellyt yksöispenkereen rakentamista opinnäytetyössään. Yksöispengeri on tehty päätypengerryksenä rannan myötäisesti. 100–150 m välein on rantapenkereeseen liitetty myös poikittaisia välipenkereitä, jolloin vanhan merenpohjan päälle on muodostunut ”altaita”. Nämä altaat on täytetty lopuksi sekalaisella koheesiomaamassalla. Yksöispenkereen alla on käytetty polypropyleenistä valmistettuja geolujitteita (Pirinen 1984). Lujitteista huolimatta rannan pohjaan stabiliteetti oli työn aikana pettänyt. Varsinaisia maan sortumia ei ole havaittu muualla, paitsi rakennettaessa yksöispengertä. Yksöispengeri aiheutti stabiliteettiongelman, sillä heikkolujuuksinen savi- ja liejusavipohja ei ole kestänyt penkereen korottamista.

Kaksoispenkereen täyttövaihe 1984-1986

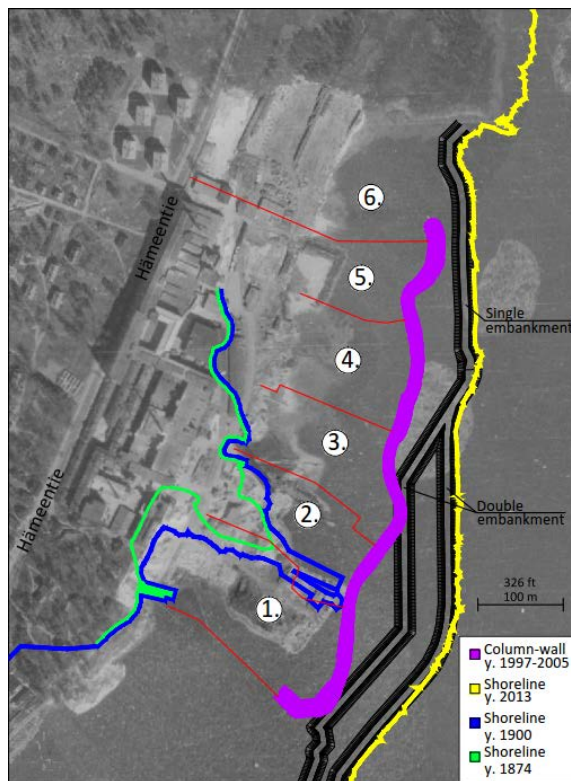
Tarkastelualueen kaksoispengeri rakennettiin talvityönä jääkantta apuna käyttäen vuosina 1984–1986 ja se on ollut tähän saakka viimeisin täyttövaihe. Täyttöaluetta laajennettiin merelle päin rakentamalla ns. kaksoispengeri nykyisen rantaviivan reunavyöhykkeelle sekä suoritettiin sen tausta-alueiden täyttö. Koska yksöispenkereen rakentamisen jälkeen oli havaittu, että polypropyleenikankaiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet olivat huonoja, käytettiin kaksoispenkereessä geolujitteena polyesterikankaita. (Leppänen 1989.) Kaksoispenkerettä on käsitelty tarkemmin luvussa 3.3.



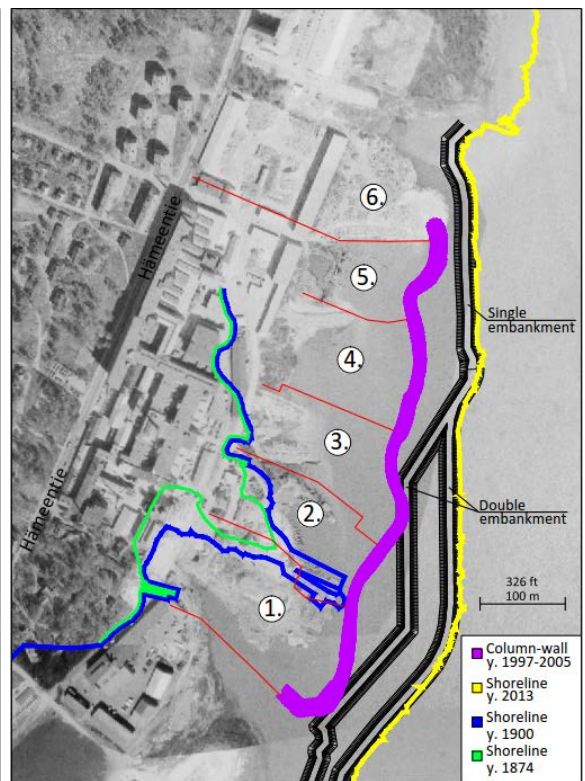
Kuva 3.3. Arabianrannan ilmakekuva v. 1932, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



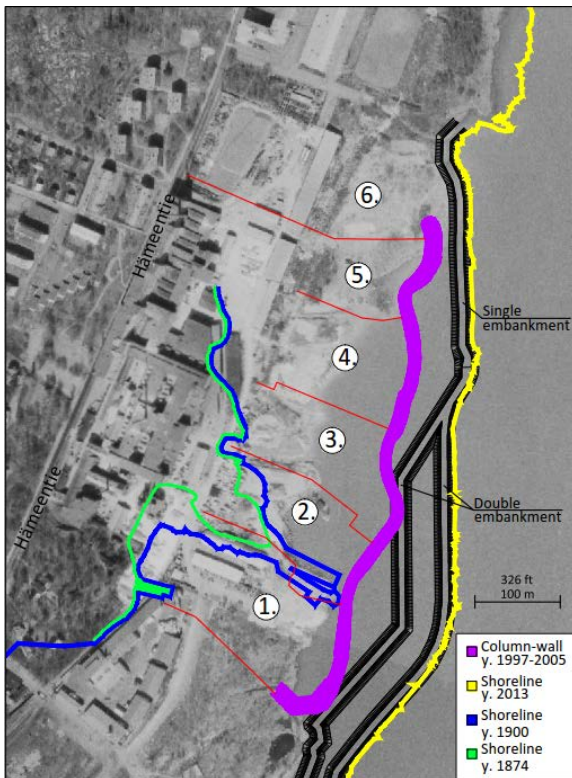
Kuva 3.4. Arabianrannan ilmakekuva v. 1943, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



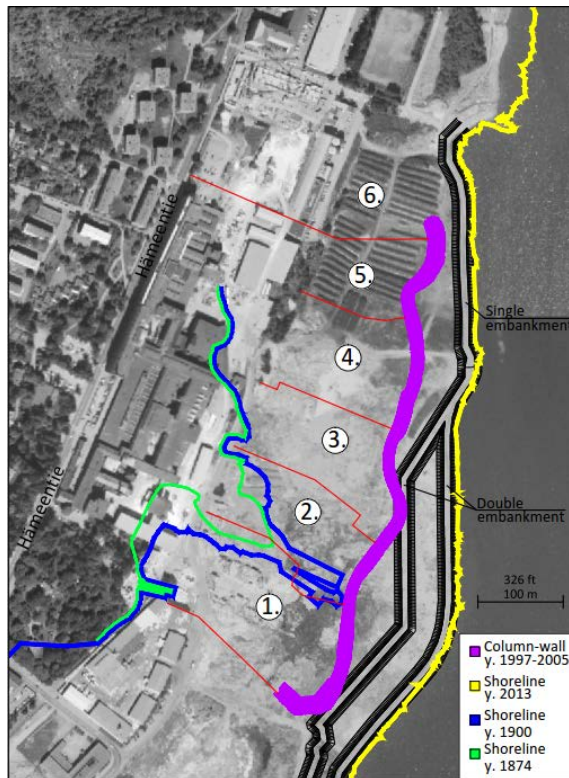
Kuva 3.5. Arabianrannan ilmakekuva v. 1950, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



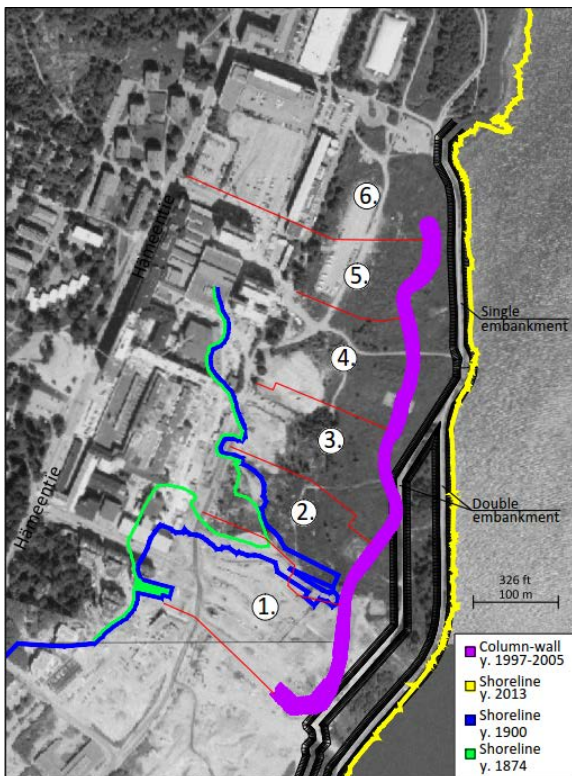
Kuva 3.6. Arabianrannan ilmakekuva v. 1964, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 3.7. Arabianrannan ilmakekuva v. 1976, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 3.8. Arabianrannan ilmakekuva v. 1988, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 3.9. Arabianrannan ilmakekuva v. 2001, muokattu. (<http://kartta.hel.fi>)

3.3 Maaperän pilaantuneisuus

Pilaantuneella alueella tarkoitetaan aluetta, johon on ihmisen toiminnan seurauksena joutunut haitallisia aineita siinä määrin, että niistä aiheutuu haittaa tai merkittävä riski ympäristölle tai terveydelle, viihtyisyyden vähentymistä tai muuta niihin verrattavissa olevaa haittaa. Haitallisia aineita voi joutua maaperään erilaisten onnettomuuksien, vahinkojen tai pitkän ajan kuluessa tapahtuneiden vähittäisten päästöjen seurauksena. Joskus syynä on aiempi käytäntö haudata jätteitä maahan. Aineet voivat kulkeutua maaperässä pohjaveteen, vesistöön tai levitä ympäröiville alueille. Ympäristö- ja terveysvaikutukset saatetaan havaita vasta vuosikymmenien jälkeen, toiminnan jo päättyttyä. (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. 2015.)

Jos alue todetaan pilaantuneeksi, on ryhdyttävä toimenpiteisiin haittojen ja riskien vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle, joka taas riippuu alueen maankäytöstä. Käytännössä viranomainen määrittää ilmoitus- tai ympäristölupapäätöksessään, millaiset vähimmäistavoitteet alueen kunnostamiselle asetetaan. Riskinhallinta voidaan toteuttaa haitallisia aineita poistamalla, niiden kulkeutumista vähentämällä tai rajoittamalla haitallisille aineille altistumista esim. maankäytön suunnittelulla. (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. 2015.)

Arabianrannan täyttökerroksissa on havaittu pilaantuneita maita jopa 4 m paksuudelta. Tämä on otettu huomioon Arabianrannan rakentamisessa. Pilaantuneet maat ovat mahdollisesti myös kiihdyttäneet savitäyttöjen korrodoivaa vaikutusta. Eräänä ajatuksena oli alun perin, että Arabianrannan salpaseinä olisi tehty teräksisistä paaluista. Tästä ideasta kuitenkin luovuttiin korroosion vuoksi. Sen sijaan salpaseinässä käytettiin stabilointipilareita, jotka eivät ole alttiita korroosiolle.

Arabianrannassa on tehty maaperän haitta-ainetutkimuksia monessa vaiheessa vuodesta 1993 alkaen. Täyttömaa on ollut pilaantunut paikoin raskasmetalleilla (etupäässä lyijyllä ja sinkillä) sekä öljyllä ja muilla haitta-aineilla (mm. PAH ja PCB). (Salla 2010.)

Maaperä on puhdistettu useissa vaiheissa rakentamisen edetessä Uudenmaan aluehallintoviraston ympäristölupien mukaisesti. Puhdistusmenetelmänä oli pilaantuneen maan poistaminen ja paikoilleen eristäminen. Ympäristölupien mukaan alueelta on poistettu raskasmetalleilla pilaantuneen maan pintaosa siten, että maan pintaan jäi 0,8–1,0 m paksu puhtaan maan kerros lopullisesta maanpinnasta lukien. Öljyllä pilaantuneet maat määrättiin poistettavaksi kokonaan. Lisäksi osalle aluetta on rakennettu geoteknisistä syistä betonilaatta, joka toimii tehokkaana eristeenä. Paikoilleen jäävän metallipilaantuneen maan yläpintaan on asennettu tulevia kaivuja varten merkkikerros (muoviverkko). (Salla 2010.) Poistettujen pilaantuneiden maiden määrät ja kustannukset käyvät ilmi Taulukosta 3.6. (Ksv 2009).

Kaikki putket, johdot ja istutukset tulevat puhtaaseen maakerrokseen muoviverkon tai betonilaatan yläpuolelle. Ympäristölupapäätös perustuu riskinarvioon, jossa todetaan, että kuvatulla tavalla tehty puhdistaminen ei aiheuta terveys- tai ympäristöriskejä pitkäläkään aikavälillä. (Salla 2010.)

Arabianrannassa tehtiin laajoja massanvaihtoja pilaantuneiden maiden vuoksi ja rakennusten kohdalla ne eristettiin. Arabianrannan 1. rakennusalueen rakennusten kohdalla eristys tehtiin valamalla 80 mm paksuinen betonilaatta, jonka päälle lisäksi laitettiin 300 mm kerros sepeliä. Myöhempien rakennusalueiden rakennusten paikoilla käytettiin samaa tapaa kuin edellä, mutta sepelikerroksen paksuus oli 500 mm. Rakennusalueella 1

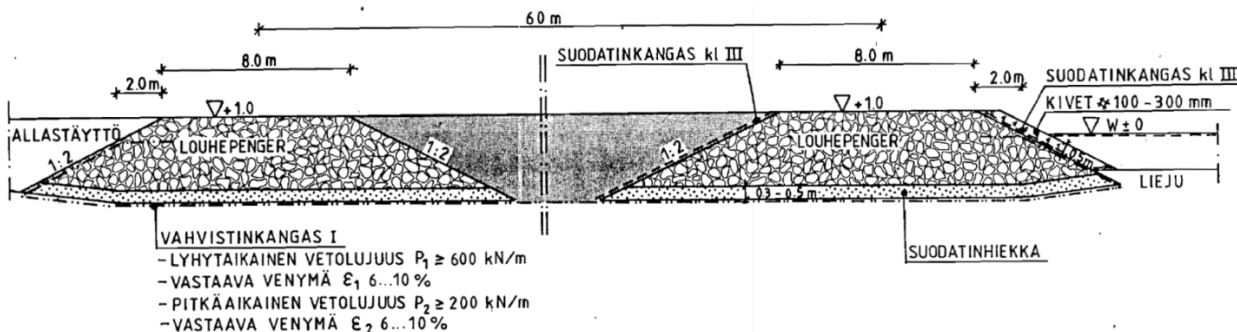
As. Oy Arabian Sinin kohdalla on tehty paalulaatta, joka eristää hyvin pilaantuneet maat. Paalulaatan päälle on tehty täyttö ja rakennus on perustettu anturoille täytön varaisesti. (SCC Viatek Oy 2000. As Oy Arabian Sini, Perustuskuvat.)

Taulukko 3.6. Pilaantuneiden maiden määrät ja kustannukset Arabianrannassa, muokattu taulukko. (Ksv 2009)

Tarkastelujakso	Poistettu <i>t</i>	Kustannukset		Kerrosala <i>kem²</i>	Kustannukset <i>€/kem²</i>
		Milj. €	€/t		
v. 2001-2008	645 000	28,1	43	490 000	57

3.4 Kaksoispenger

Arabianrannan ranta-alueelle rakennettiin vuosina 1985-1986 kelluva kaksoispenger. Nimitys ”kelluva” tulee siitä, että penger rakennettiin pehmeiden maakerrosten päälle.



Kuva 3.10. Vanhankaupunginlahti, Helsinki. Kaksoispenkereen pääasiallinen rakenneratkaisu. (Leppänen 1989)

Penkereen periaateleikkaus näkyy Kuvassa 3.10. Kaksoispenger on rakennettu kitkamaista ja se on vahvistettu polyesteristä valmistetuilla geolujitteilla. Kaksoispengeren väliin jäänyt allas on täytetty Helsingin kaupungin ylijäämämailla. Kaksoispenger rakennettiin, sillä Arabianrannan heikkolujuuksisten liejusavi- ja savimaakerrosten varaan olisi ollut vaikea saada aikaan toimivaa rantarakennetta perinteisiä rantarakentamisen menetelmiä käyttäen. (Leppänen 1989.) Lisäksi rantapenkereen rakentamista ja suunnittelua on käsitelty mm. Rathmayer & Korhosen (1985) konferenssiartikkelissa.

Kaksoispenger sijaitsee Arabianrannan rakennusalueiden 1–3 rannan puolella ja siinä penkereiden keskilinjat ovat 45–55 m etäisyydellä toisistaan. Rakennusalueella 4 kaksoispenger yhdistyy yhdeksi penkereeksi ja jatkuu pohjoisen suuntaan yksöispenkereenä. (Leppänen 1989.)

Kaksoispenkereen ulompi osa myötäilee rantaviivaa, kun taas sisempi penger kulkee noin 50 metrin päässä rannasta. Sisemmän penkereen tehtävänä on ankkuroida ulompi rantapenger paikalleen geolujitteiden avulla. Ilman kaksoispenkereen sisempää pengertä rannan tuntumassa oleva penger valuisi mereen, sillä pehmeä pohjamaa ei kestäisi kyseistä kuormitusta sellaisenaan. (Leppänen 1989.)

3.5 Suoritetut kokeet

Arabianrannassa on tehty lukuisia koerakenteita ja tutkimuksia, mm. salpaseinän koerakenneseosio, EuroSoilStab-koestabiloinnit sekä vakuumikonsolidaatiokoe.

Salpaseinän koerakenne ja -kuormitus 1997

Salpaseinän koerakenneosio tehtiin käyttämällä syvästabiloinnin märkämenetelmää. Kokeessa kuormitettiin salpaseinän koerakenneosiota rakentamalla mantereen puolelle penger (korkeus 0,6...2,6 m, jonka aiheuttaman kuorman suuruus oli 12...52 kPa).

Salpaseinärakenne instrumentoitiin ja inklinometritulosten perusteella todettiin, että vaakasuuntaiset liikkeet olivat pienempiä salpaseinän kohdalla kuin penkereen länsipuolella, jossa ei ollut salpaseinää. (Vähäaho 2000.) Tulokset osoittivat liikkeiden olleen kuitenkin suuria, jopa noin 40 mm kahden vuoden aikana. Salpaseinärakenteen itäosassa (penger sijaitsi salpaseinän länsipuolella) inklinometrien liikkeet olivat enää noin 10 mm kahden vuoden aikana. (Gulin & Wikström 2000; Vähäaho 2002.) Samaisesta koerakenteesta huomattiin myös, että märkästabilointi ei soveltunut hyvin kyseiselle maaperälle mm. pitkän lujittumisajan takia ja niinpä tämän kokeen jälkeen märkästabilointia ei enää käytetty.

Vakuumikonsolidaatiokoe 1997

Vakuumikonsolidaatiokoe suoritettiin kenttäkokeena Arabianrannan rakennusalueella 2. Siinä tutkittiin, kuinka kuormitettu liejusavi- ja savimaa tiivistyy, jos maalle aiheutetaan alipaine. Vakuumissa huokosvedenpaine purkautuu maasta nopeammin ja tällöin myös konsolidoituminen nopeutuu. Vaikka vakuumikonsolidaatio haasteista (esim. vuodot) huolimatta toimii, asettaa sen mallintaminen ja laskeminen omat vaikeutensa tämän menetelmän käytettävyydelle. Jos tätä menetelmää kuitenkin käytetään, teknistaloudellisen vertailun mukaan on myös syytä harkita, jatketaanko konsolidointia pitkään vai käytetäänkö lyhyempää konsolidointia, jolloin joudutaan hyväksymään jonkinasteinen jälkipainuma. (Puumalainen 1998.)

EuroSoilStab-koestabilointi 1998-1999

EuroSoilStabin koestabilointipilarit tehtiin Arabianrannan rakennusalueelle 5, rantapuis-ton kohdalle vuosina 1998–1999. Koestabiloinnissa pilareille kokeiltiin eri sideainetyyppejä ja -määriä sekä stabilointikoneen sekoitinkärjen eri nousunopeuksia. (EuroSoilStab-suunnitelmat, Viatek Oy 1998.)

3.6 Siirtymä- ja painumatila

Nykyisten täytekerrosten kuormittamana lieju- ja savikerros on kokoonpuristumistilassa. Pääosa tästä kokoonpuristumisesta johtuu sekundaarikonsolidaatiosta, joka on erittäin pitkäkestoinen prosessi. (Fundus Oy 2000b.)

Etenkin liejusavessa, mutta myös savessa, tapahtuu kaiken aikaa ns. leikkausdeformoitumista alueen rannanpuoleisilla vyöhykkeillä. Tämä aiheutuu merelle päin viettävästä maanpinnan kaltevuudesta sekä täytekerrosten paksuusvaihtelusta syntyvistä kuormituseroista. Ilmiö näkyy rannanpuoleisen vyöhykkeen jatkuvana ryömimisena merelle päin. (Fundus Oy 2000b.)



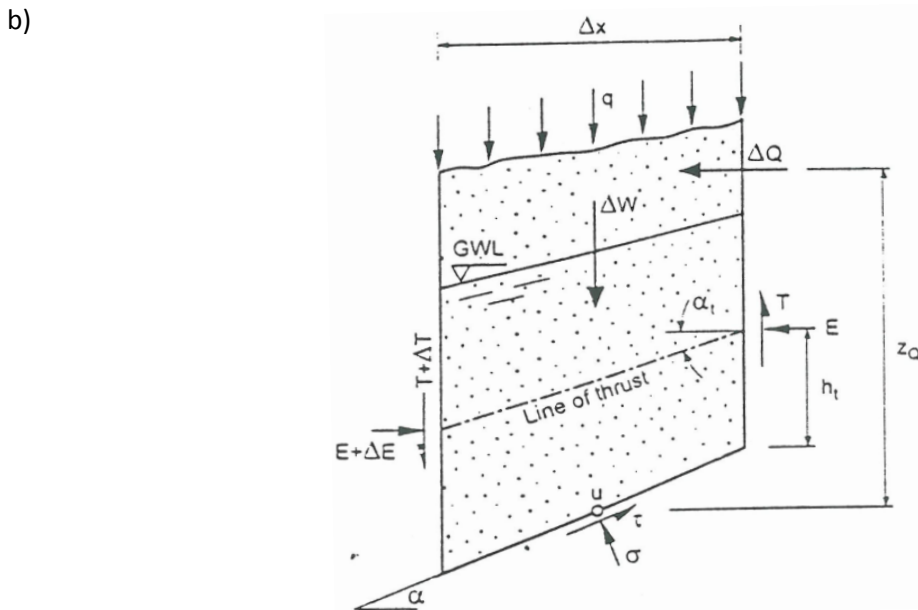
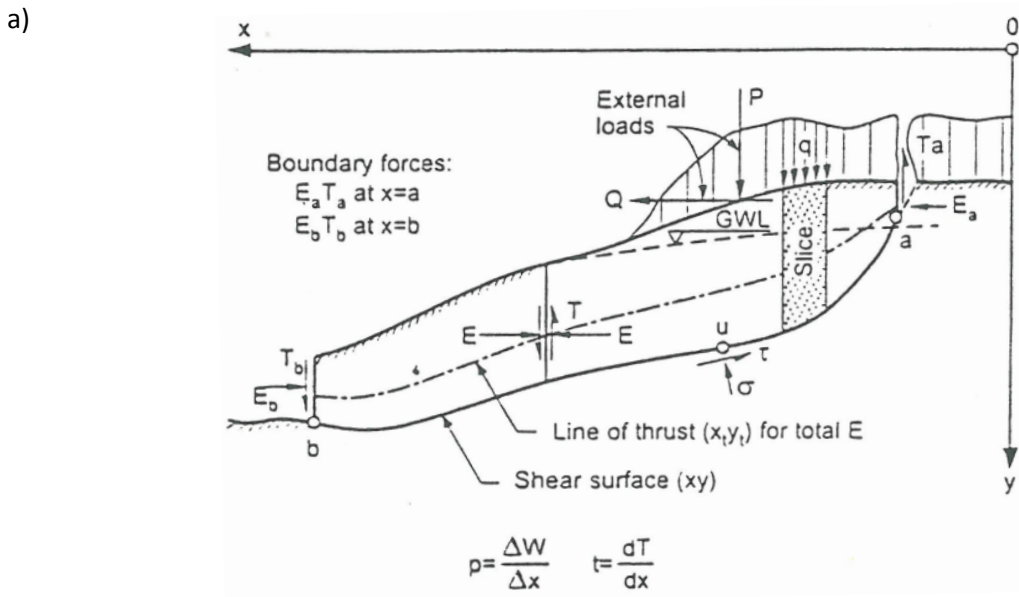
Kuva 3.11. Arabianrannan täyttöjen alapinnan tasokäyrästä. (Vähäaho 1997)



Kuva 3.12. Arabianrannan saven alapinnan tasokäyrästä. (Vähäaho 1997)

Arabianrannan alueella tehdyt täysmittakaavaiset *in situ* -kokeet vahvistavat sen, että kun alueen lieju- ja savikerrokseen aiheutetaan uusi kuormitustilanne, alkaa näiden leikkausdeformoituminen (mm. sivusiirtyminen) heti ja se jatkuu pitkään. Esimerkiksi nykyisen täytemaan päälle tehtävä uusi täyttö tai kaivu aiheuttaisivat tällaisen kuormitustilanteen. (Fundus Oy 2000b.)

Arabianrannan stabiliteettia ovat tutkineet Länsivaara, Hartikainen ja Janbu. Kuvassa 3.13. on periaatekuva Arabianrannan sivusiirtymätilanteen syistä. Savi paksunee merelle päin kiilamaisesti ja kova pohja laskee merelle päin, jolloin kuormat lähtevät viettämään maata alaviistoon. (Länsivaara & Hartikainen 1998; Länsivaara & Janbu 1998.) Rantapuiston alueen stabiliteetista on tehnyt laskelmia myös Näättänen (1997).



Kuva 3.13. a) Periaatekuva Arabianrannan sivusiirtymätilanteen syistä. Kova pohja viettää merelle päin, jolloin kuormitettu maapohja alkaa sivusiirtyä. b) Yksityiskohtainen periaatekuva, kun savikerroksen alapuolinen kova pohja on kalteva. (Länsivaara & Janbu 1998)

4 Arabianrannan rakentaminen

4.1 Salpaseinän toteutus 1997-2005

Salpaseinän suunnitteluperiaatteet

Suunnitteluvaiheessa salpaseinän mitoitus perusteltiin FEM-mallinnuksella. Salpaseinä-rakennetta koekuormitettiin ja samainen kuormitustilanne FEM-mallinnettiin. Kuvassa 4.1.a näkyy salpaseinän koekuormitustilanne sekä mittausrakenteiden paikat. Salpaseinän suunnittelun lähtökohtana oli se, että seinämärakenne pysäyttää maan vaakasuuntaiset liikkeet eri suunnista ja että salpaseinä ei korroidu. (Gulin & Wikström 2000.)

Salpaseinärakenne suunniteltiin siten, että (Gulin & Wikström 2000.):

- Kokonaisvarmuus kaatumista sekä liukumista vastaan oli $\geq 1,5$.
- Kantokyvyltään rakenteen täytyi kestää 400 kPa suuruinen kuorma.
- Pilarien ylä-/alaosan puristuskestävyyden tuli olla 800/1500 kPa.
- Paikallisia murtumia ei saanut syntyä.
- Rakenteeseen ei saanut syntyä vetoa.
- Suurin vaakasuuntainen siirtymä rakenteessa sai olla 100 mm.
- Rakenteen täytyi olla toteutuskelpoinen.

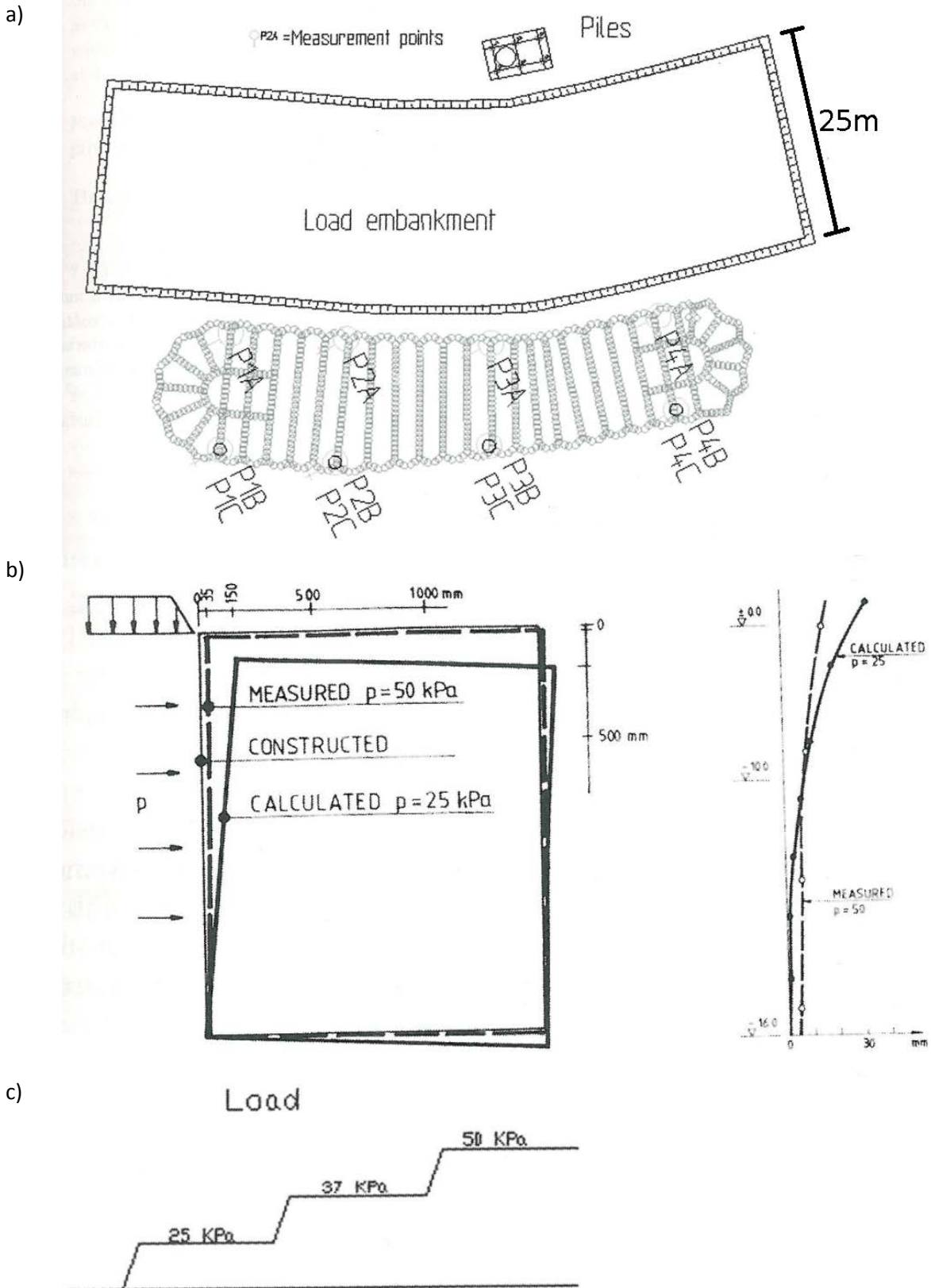
Testirakennetta tutkittiin kaksiulotteisena sen pitkänomaisen rakenteen vuoksi. Havaittiin, että käytetty pilarikuvio täytti parhaiten suunnitteluvaatimukset. Rakenteen muoto estimoitiin laskemalla käsin sallitut jännitykset, kantokyky sekä varmuudet kaatumista ja liukumista vastaan. (Gulin & Wikström 2000.)

Salpaseinän koekuormitustilanne mallinnettiin alun perin PLAXIS-ohjelman Mohr-Coulombin materiaalmallilla (Gulin & Wikström 1997). MC-malli ei kuitenkaan sovelly yhtä hyvin lujuudeltaan heikoille maakerroksille (liejusavelle tai savelle) verrattuna Soft Soil -malliin. Gulinin ja Wikströmin (1997) artikkelissa kolmiakselialikokeista oli saatu liejusaven tehokkaalle kitkakulmalle arvo $\phi' = 30^\circ$, ja savelle $\phi' = 22^\circ$, mikä mahdollisesti aiheutti sen, että mitatuissa ja lasketuissa tuloksissa oli eroavaisuutta.

Salpaseinän sisäisen rakenteen toimivuutta tutkittiin 3D-FEM-mallilla (NISA). Malliin otettiin 3 m pituinen osio salpaseinärakenteesta ja se koostui 1708:sta 20-solmuisesta heksaedrin muotoisesta elementistä. Koerakenteen mallinnuksessa kimmomoduulit salpaseinän ylä- ja alaosille olivat $E_{ylä} = 30 \text{ MPa}$ ja $E_{ala} = 60 \text{ MPa}$. (Gulin & Wikström 2000.) Keskimääräistetyt kimmomoduulit olivat luvun 7 FEM-mallissa $E_{ylä} = 125 \text{ MPa}$ ja $E_{ala} = 341 \text{ MPa}$. Toisin sanoen salpaseinän suunnitteluvaiheessa käytettiin huomattavasti pienempiä kimmomoduulien arvoja kuin luvun 7 mallissa.

Koekuormitus tehtiin porrastetusti Kuvan 4.1.c mukaan. Koekuormituksesta havaittiin, että salpaseinärakenteen yläpään keskimääräinen vaakasiirtymä kasvoi 35 mm suuruiseksi ja siirtymistä alkoi tapahtua heti kuormituspenkereen rakentamisen jälkeen. Sen sijaan salpaseinärakenteen alapää oli pysynyt paikallaan hiekkakerroksessa eikä rakenteen liukumista ollut havaittavissa. FEM-mallilla lasketut sekä inklinometritutkista mitatut vaakasiirtymät on esitetty Kuvassa 4.1.b. (Gulin & Wikström 2000.) Eroavaisuudet laskentamallin sekä mittaus tulosten välillä voisivat selittyä sillä, että laskentamallissa käytetyt keskimääräistetyt kimmomoduulien arvot olivat huomattavasti pienempiä verrattuna tämän työn luvussa 7 käytettyihin arvoihin. Myös lujuudeltaan heikkojen maaker-

rosten parametrit eivät olleet täysin yhteneväiset tässä työssä käytettyjen parametrien kanssa.



Kuva 4.1. Arabianranta, märkämenetelmäkoestabilointi. a) Pilariseinä ja koekuormitus-penger. b) FEM-mallilla (NISA) mallinnetut ja inklinometriputkista mitatut vaakasiirtymät. c) Koepenkereen kuormitusportaat. (Gulin & Wikström 2000)

Rakentamisvaiheet

Arabianrannan salpaseinä on rakennettu vuosien 1997–2005 välillä. Sen eri osien tarkemmat rakentamisajankohdat on esitetty Kuvassa 4.2.

Ensimmäisellä rakennusalueella tehtiin aluksi koerakenne vuoden 1997 kesä-syyskuun välillä. Lokakuussa vuonna 2000 salpaseinän länsi-, etelä- ja pohjoispuolelle tehtiin lisää stabilointipilareita, jotka kattoivat Arabianrannan ensimmäisen rakennusalueen muut osat. Ensimmäisen rakennusvaiheen salpaseinäosio saatiin päätökseen kesäkuussa vuonna 2001. (Vähäaho 2009.)

Salpaseinän toinen vaihe tehtiin ensimmäisen vaiheen pohjoispuolelle aikavälillä elokuu-lokakuu 2001. Salpaseinärakenteen kolmas vaihe toteutettiin heinäkuusta 2002 alkaen ja se saatiin päätökseen saman vuoden lokakuussa.

Arabianrannan salpaseinän ensimmäiset kolme osuutta stabiloi YIT Rakennus Oy. Kolmannen vaiheen jälkeen salpaseinän rakentamisessa oli vuoden tauko, minkä jälkeen Skanska Tekra Oy rakensi neljännen rakennusalueen salpaseinäosan touko-syyskuun välillä vuonna 2004. Viides ja viimeisin vaihe rakennettiin touko-marraskuussa vuonna 2005. Myös viidennen rakennusalueen salpaseinäosuuden urakoi Skanska Tekra Oy.

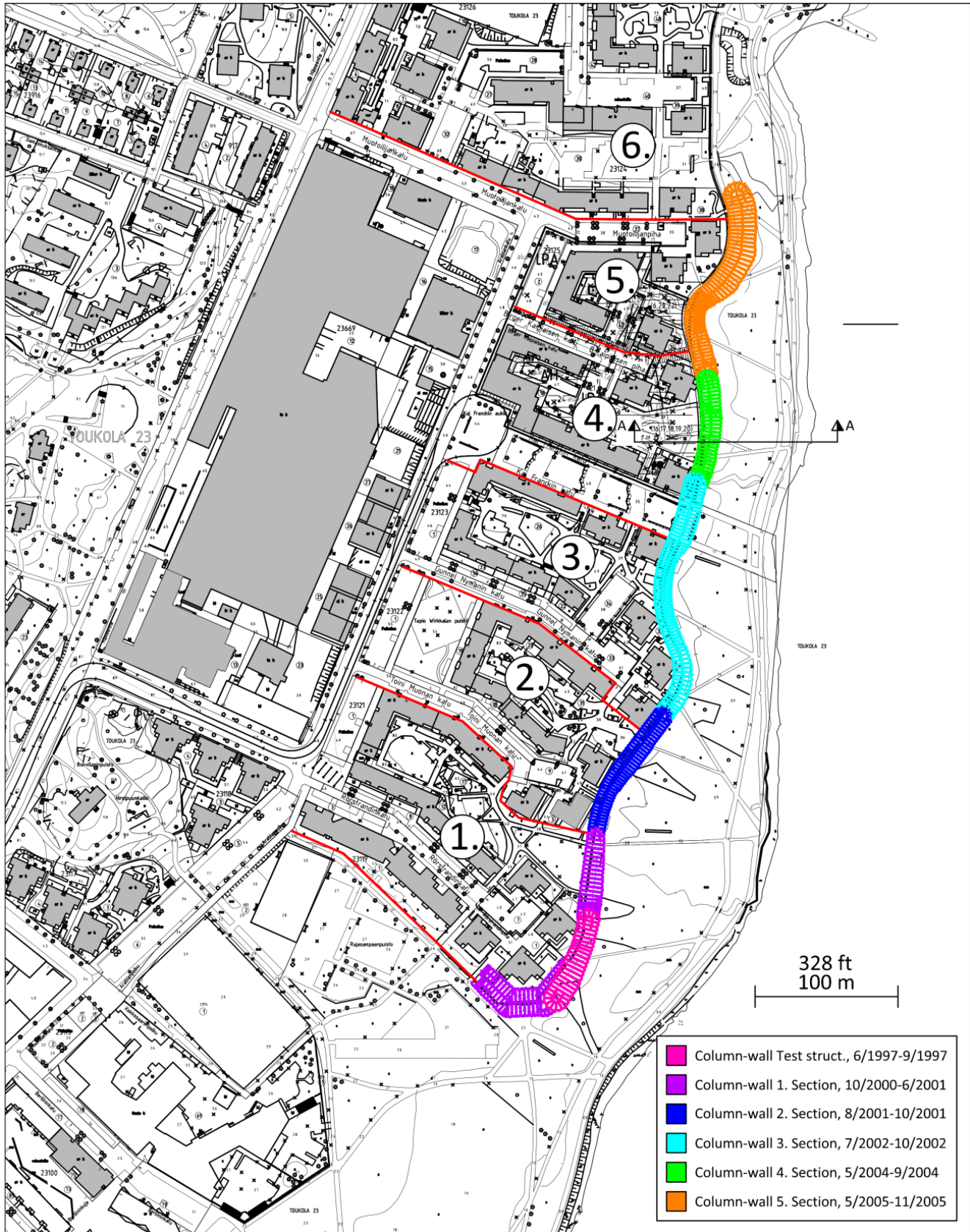
Helsingin Arabianrannan esirakentaminen sekä maaperän kunnostus maksoivat arviolta 78 miljoonaa euroa. Kyseinen summa vastaa n. 40 % tonttimaan arvosta ja rakennettua kerrosneliötä kohti kustannuksia kertyi siten 260 euroa. (Korhonen 2008.)

Salpaseinän rakenne

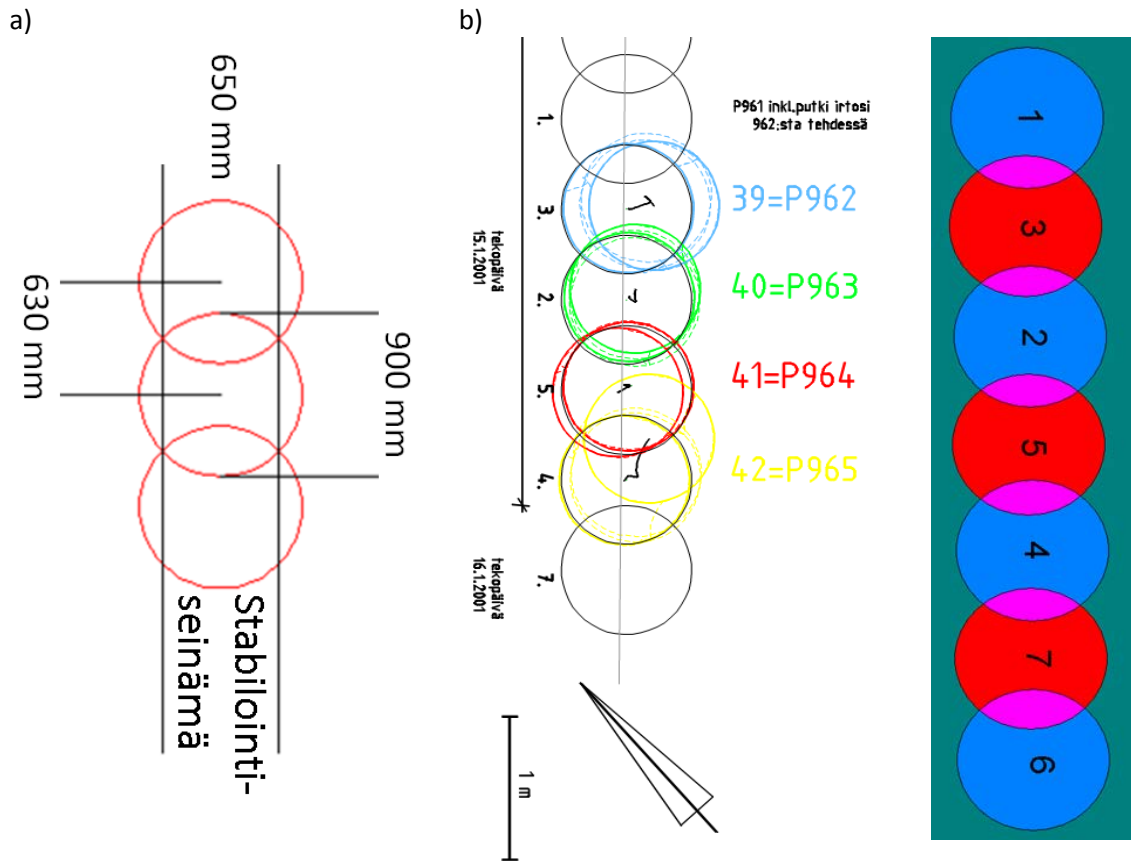
Arabianrannan salpaseinä kulkee rannan myötäisesti n. 25...110 m päässä rantaviivasta. Salpaseinä on tehty halkaisijaltaan 900 mm suuruisista pilareista. Stabilointipilarikaavio on suunniteltu siten, että limitetyt pilarit muodostavat yhtenäisen 650 mm leveän seinämän (Kuva 4.3.a). K/k-väliksi muodostui tällöin 630 mm eli pilareiden teoreettinen limitys on 270 mm. Toteumapiirustusten perusteella pilarien yläpäiden k/k-väli on vaihdellut 630 ± 60 mm välillä. Pilarien todelliseen sijaintiin maanpinnan alapuolella vaikuttaa stabilointikoneen keilitangon pystysuoruus. InfraRYL:n (2010) mukaan yksittäisen pilarin suurin sallittu kaltevuus on 20 mm/m. Mikäli vierekkäiset pilarit ovat vinoja 20 mm/m eri suuntiin, erkanevat ne toisistaan 40 mm/m, jolloin pilarit eivät limity toisiinsa enää 8 m syvemmällä. Kohteen stabilointityöseloituksessa on esitetty, että stabilointikoneen keilin pystyssäpitoautomaatiikka on tarkistettava vähintään kerran työvuorossa.

Lamelliseinän yläosan yhtenäisyyttä (pilarien limitystä) tutkittiin koekuopilla, joilla havaittiin lamelliseinien yläosat yhtenäisiksi. Lamelliseinien yhtenäisyyttä tutkittiin vaiheessa 1 vierekkäisten pilarien ”keskireikiin” heti pilarin teon jälkeen työnnettyillä inklinometriputkilla (Vähäaho 2003). Inklinometriputkien mittaustulosten perusteella näyttää ilmeiseltä, että osa pilareista on vinossa enemmän kuin 20 mm/m, jolloin syvemmällä oleva lamelliseinärakenne ei ole yhtenäinen.

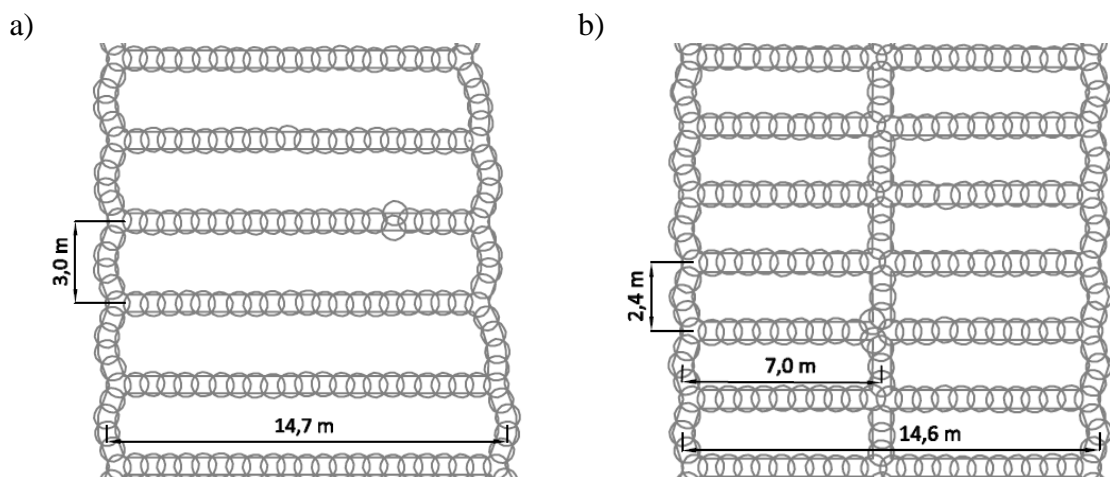
Salpaseinän pilarikaavio on hunajakennomainen (Kuva 4.4.). Salpaseinän geometria oli Kuvan 4.4.a mukainen koerakennesiossa sekä salpaseinän ensimmäisessä rakennusvaiheessa. Myöhemmissä vaiheissa (2–5) salpaseinän keskilinjalla kohdalla on myös yksi pituussuuntainen stabilointipilaririvi (Kuva 4.4.b). Stabilointipilareiden poikittainen lamelliväli oli myös tiheämpi salpaseinän vaiheissa 2–5 verrattuna rakennusalueen ensimmäisiin salpaseinäosuuksiin. Kuvassa 4.4. vastaavat stabilointipilareiden lamellivälit ovat 3,0 m ja 2,4 m.



Kuva 4.2. Salpaseinän rakentamisajankohdat.



Kuva 4.3. Arabianranta. a) Käytetty teoreettinen salpaseinän pilarikaavio. (Viatak 2005) b) Esimerkki pilareiden todellisista sijainneista maanpinnalta ja niiden keskeisiin asennetuista inklinometriputkista mitattuna syvemmmältä. Lisäksi on esitetty pilareiden tekojärjestys. Esimerkki on rakennusalueelta 1. (Vähäaho 2003)



Kuva 4.4. Arabianrannan salpaseinän pilarikaavio. a) Rakennusalue 1. b) Rakennusalue 2.

Salpaseinän stabilointipilarit on pyritty tekemään koheesiomaakerrosten alapuolelle siten, että pilarit ulottuvat n. 1 m savikerroksen alapuoliseen kitkamaakerrokseen.

Salpaseinän kohdalla saven paksuus vaihtelee 5...20 m välillä. Paksuimmillaan savea on ollut salpaseinän ensimmäisen rakennusalueen kaakkoisosassa sekä rakennusaluei-

den 5 ja 6 välillä. Saven paksuus on ohuimmillaan salpaseinän osassa, joka sijaitsee 3. rakennusalueen kohdalla. (Vähäaho 1997.)

Salpaseinän lujuusvaatimukset on esitetty Fundus Oy:n suunnitelmassa (Taulukko 4.1). Kaavassa 4.1. on esitetty kuinka yksiaksiaalisen puristuslujuuden avulla voidaan laskea leikkauslujuus (Aalto-yliopisto 2012).

$$\tau = \frac{\sigma}{2} \quad (4.1)$$

missä τ on leikkauslujuus [kPa]
 σ on yksiaksiaalinen puristuslujuus [kPa]

Leikkauslujuusvaatimukset ovat olleet puolet yksiaksiaalisesta puristuslujuudesta. Siten salpaseinän ylä/alaosalle vaadittua puristuslujuuden keskiarvoa 800/1500 kPa vastaava leikkauslujuusvaatimus on ollut 400/750 kPa.

Taulukko 4.1. Salpaseinän puristuslujuus, joka tulee saavuttaa puristin-heijarikairalla määritettynä 2 kk kuluttua stabiloinnista”. (Fundus Oy 2000a)

Syvyysväli	Puristuslujuuden keskiarvo, q_{cm}	Ominaisarvoa edustava puristuslujuus, q_{eig}	Puristuslujuuden satunnainen minimiarvo, q_{min}
Liejussa	800 kPa	600 kPa	400 kPa
Savessa	1500 kPa	1150 kPa	750 kPa

Koerakenne märkämenetelmällä 1997

Arabianrannan salpaseinän koerakenneosio tehtiin v. 1997 käyttäen pilaristabiloinnissa märkämenetelmää. Pilarien yläosalle tavoiteltiin 800 kPa:n yksiaksiaalista puristuslujuutta ja pilarien alaosalta 1500 kPa:n. Kokeen johtopäätöksenä todettiin, että lujuusvaatimukset eivät täyttyneet. Toisaalta todettiin, että pilarien lujuusvaatimukset olivat alunperin tarpeettoman korkeat. Stabilointipilareiden suunniteltu sideainemäärä oli ollut n. 400 kg/m³, mutta toteumatietojen perusteella sen keskiarvo oli jäänyt 273 kg/m³:een suuren osan sideaineesta noustessa ylös maan pinnalle. Pilarien sideainemäärä vaihteli suuresti (46–666 kg/m³), ja todettiin, että koerakenteen pilareista ei tullut tarpeeksi tasalaatuisia. (Vähäaho 2000.)

4.2 Rakennusten rakentaminen vuosina 2001-2013

Kuvasarjasta 4.2.-4.9. nähdään talojen rakennustöiden eteneminen vuosina 2001-2013. Kuvasta 4.10. käyvät ilmi kiinteistöjen nimet ja Kuvasta 4.11. rakennusten valmistusvuodet (<http://www.arabianranta.fi>).

Yleiset suunnitteluperiaatteet ja ohjeistukset

Arabianrannan katualueet, pihat ja kunnallistekniikka on perustettu paalulaatalle. Rakennusten perustamistavat on eritelty alueittain myöhemmässä luvussa 4.5 (Perustaminen alueittain). Pääasiallinen perustamistapa Arabianrannan rakennuksille on teräsbetoniset paaluanturat sekä kantava alapohja. Alueen pohjarakenteissa käytetty sementti on sulfaatinkestävää. Rakennusalueilla 1–5 (salpaseinän alue) ei ole sallittu vinopaaluja, mutta rakennusalueella 6 (ei salpaseinää) vinopaaluja on tehty muutamalle rakennukselle. Paalulaattojen ja rakennusten paalukot on tarkoituksella tehty hieman vinoina siten, että vinous on pääasiassa suunnattu vastustamaan maan liikkeitä merelle päin. Paalujen lievä vinous on auttanut paaluviidakon toimintaa ”paalupukkirakenteena” ja auttanut

sivusiirtymien pysäyttämässä. Siten salpaseinä ei ole yksinään hidastanut maan sivusiirtymiä.

Paalut on asennettu Auger-kairalla porattuihin esireikiin. Esireiällä on pyritty välttämään huokosvedenpaineen laaja-alaista nousua sekä maan vaakasiirtymien kasvamista. Lisäksi paalujen ulkolaidoille suositeltiin pystysalaojanauhoja. (Fundus Oy 2000a.) Paalut olisi pitänyt asentaa heti Auger-kairareian poraamisen jälkeen, mutta kuuleman mukaan esireiät on saatettu porata järjestelmällisesti ensin koko rakentamisalueelle, minkä jälkeen on tehty paalutus. Osalla Arabianrannan rakennusten paalutuksista on käytetty kalliokärkiä. Joissakin kohdissa salpaseinä ja paalutus osuivat päällekkäin, jolloin ohjeena oli, että paalutus tehtäisiin salpaseinän lamellien ”tyhjiin” väleihin rikkomatta salpaseinärakennetta. Osalle aluetta tehtiin paalujen varaan betonilaatta geoteknisistä syistä, ja riskinarvion mukaan sen alle saattoi tiettyyn rajaan asti jättää pilaantunutta maata ilman terveys- ja ympäristöriskiä (Salla 2010).

Tontin luovutusehtojen mukaisesti talonrakennushankkeiden pohjarakennussuunnitelmaan tulee sisältyä seurantamittausohjelma, joka käsittää mm. huokosvedenpaineen, sivusiirtymien ja painumien mittaukset. Mittauspisteitä tulee asentaa ohjeellisesti kahteen pisteeseen per rakennushanke. Sivusiirtymämittaukset tehdään 0,5 m välein syvyysuunnassa. Mittauslaitteet on asennettava hyvissä ajoin ennen rakentamista, jotta tilanteesta ollaan selvillä ennen rakentamisen aloittamista. Seurantamittausten tulokset ja niiden analysointi käydään läpi kunkin hankkeen aloitus- ja seurantakokouksissa. Rakennushankkeessa tulee tehdä seurantamittauksia rakennus- ja takuuajan, minkä jälkeen mittaustulokset luovutetaan Kiinteistöviraston geotekniselle osastolle, joka vastaa jatkoseurannasta. (HKR & H:ki-geo 2005.)



Kuva 4.5. Arabianrannan ilmakeku v. 2001. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.6. Arabianrannan ilmakeku v. 2005. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.7. Arabianrannan ilmakeku v. 2008. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.8. Arabianrannan ilmakeku v. 2009. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.9. Arabianrannan ilmakekuva v. 2010. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.10. Arabianrannan ilmakekuva v. 2011. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.11. Arabianrannan ilmakekuva v. 2012. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.12. Arabianrannan ilmakekuva v. 2013. (<http://kartta.hel.fi>)



Kuva 4.13. Tarkastelualueen kiinteistöt kartalla. (Karttapohja Fonecta)



Kuva 4.14. Tarkastelualueen rakennusten valmistumisvuodet. (Karttapohja Fonecta)

4.3 Perustaminen alueittain

Rakennusalue 1, rakennukset

Rakennusalueella 1 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.2.

Helsingin Sinin perustamistapa poikkeaa alueen muiden rakennusten perustamistavoista. Se on perustettu maanvaraisesti kitkamaatäytön sekä paalulaatan varaan. Paalulaatta tehtiin ensin, minkä jälkeen sen päälle tehtiin kitkamaista rakennekerros, joka jakaa rakennuksen kuormitusta tasaisesti paalulaatalle. Helsingin Sinin maanvaraisten perustusten sekä paalulaatan välissä on 1,5 m paksuudelta kitkamaatäyttöä.

Rakennusalue 1, kadut ja pihat

Rörstrandinkatu on kokonaisuudessaan paalulaatan varassa. Samaten As. Oy Helsingin Sinin sekä Kiint. Oy Toini Muonan katu 3:n välissä oleva piha on rakennettu paalulaatan varaan ja se valmistui vuonna 2004. Hoasin opiskelija-asuintalon lounaispuolen piha on paaluhattujen varassa. Paaluhattuja on käytetty myös As. Oy Rörstrandinpihan itäisimmän kerrostalon lounaispuolella.

Rakennusalue 2, rakennukset

Rakennusalueella 2 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.3.

Rakennusalue 2, kadut ja pihat

Toini Muonan katu 4:n ja Gunnel Nymanin katu 1–5:n välissä sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2005.

Rakennusalue 3, rakennukset

Rakennusalueella 3 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.4.

Rakennusalue 3, kadut ja pihat

Kiint. Oy Gunnel Nymanin katu 4:n ja As. Oy Kotirannan välissä sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2006.

Rakennusalue 4, rakennukset

Rakennusalueella 4 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.5.

Rakennusalue 4, kadut ja pihat

Opiskelija-asuintalo Kylterinrannan, As. Oy Loppukirin ja As. Oy Birger Kaipiaisen pihan välissä sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2006.

Rakennusalue 5, rakennukset

Rakennusalueella 5 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.6.

Rakennusalue 5, kadut ja pihat

As. Oy Helsingin Kaislojen ja As. Oy Birger Kaipiaisen pihan välissä sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2007.

Rakennusalue 6, rakennukset

Rakennusalueella 6 sijaitsevat kiinteistöt ja niiden perustamistavat sekä rakentamiseen liittyviä muita tietoja on esitetty Taulukossa 4.7.

Tässä työssä rakennusalueella 6 tarkoitetaan alueita Muotoilijanhaltalta pohjoiseen päin (Virallisesti rakennusalueet 6–8). Tällä alueella ei ole salpaseinää, mutta osassa rakennuksia on käytetty tarkoituksella vinopaaluja stabiliteetin varmistamiseksi rannalle päin.

Rakennusalue 6, kadut ja pihat

As. Oy Ankkurin ja As. Oy Helsingin Rungon eteläpuolella sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2012. As. Oy Helsingin Kaanaanrannan sekä As. Oy Ankkurin välissä sijaitseva yhteispiha valmistui vuonna 2013.

Taulukko 4.2. Arabianranta. Tietoa alueen 1 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Rörstrandinpiha / Rörstrandinpiha 1	120 / 1	4 pientä asuinkerrostaloa	8.5.2001 / v. 2002	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	Päällekkäisyyttä salpaseinän kanssa.
Hoas Arabianranta / Rörstrandinkatu 3	119 / 1	Pitkänomainen asuinkerrostalo	3.7.2001 / v. 2002	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Helsingin Sini / Rörstrandinkatu 4	120 / 8	Pitkänomainen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	9.10.2001 / v. 2003	tb-paalu laatta (350 x 350 mm ²) + 1,5 m täyttökerros + maanvarainen perustus	Pilaantuneiden maiden höyryt/kaasut estetty tiiviillä teräsbetonilaattalla.
Kiint. Oy Toini Muonan katu 3 / Toini Muonan katu 3a	120 / 15	L-kirjaimen muotoinen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	4.3.2003 / v. 2004	d = 120 mm porapaaluanturat + kantava alapohja, hissikuilut kaivonrengasperustuksilla	Porapaalut injektoitu sulfaatinkestävällä laastilla, paalujen alapää ulotettu väh. 1 m pituudelta ehjään kallioon. Vanha kalliosaarekkeen paikka.
Kiint. Oy Toini Muonan katu 3 / Toini Muonan katu 3b	120 / 16	Pitkänomainen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	4.3.2003 / v. 2004	Pääasiassa d = 120 mm porapaaluanturat + kantava alapohja, myös tb-paaluanturoita (350 x 350 mm ²), hissikuilut kaivonrengasperustuksilla	Porapaalut injektoitu sulfaatinkestävällä laastilla, paalujen alapää ulotettu väh. 1 m pituudelta ehjään kallioon. Vanha kalliosaarekkeen paikka.

Taulukko 4.3. Arabianranta. Tietoa alueen 2 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Helsingin Teema / Toini Muonan piha 1	120 / 3	3 pientä asuinkerrostaloa	5.3.2002 / v. 2003	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	Vanha kalliosaarekkeen paikka.
Kiint. Oy Toini Muonan katu 4 / Toini Muonan katu 4	120 / 18	Pitkänomainen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	1.4.2003 / v. 2004	Pääasiassa tb-paaluanturat (300 x 300 m ²), osa rakennuksesta d = 100 mm injektoidujen porapaaluanturoiden varassa	Pienporapaalut ulotettu väh. 1 m pituudelta ehjään kallioon.
Asokodit Arabianranta / Toini Muonan katu 6	120 / 19	Asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	1.4.2003 / v. 2004	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
Kiint. Oy Gunnel Nymanin katu 1-5 / Gunnel Nymänin piha 1	120 / 20	Pitkänomainen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	1.4.2003 / v. 2004	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	

Taulukko 4.4. Arabianranta. Tietoa alueen 3 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Arabianviljat / Gunnel Nymanin piha 2	120 / 32	3 pientä asuinkerrostaloa	23.3.2004 / v. 2005	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	Päällekkäisyyttä salpa-seinän kanssa.
Kiint. Oy Gunnel Nymanin katu 4 / Gunnel Nymanin katu 4-8	120 / 35-36	L-kirjaimen muotoinen pitkänomainen asuinkerrostalo	14.10.2003 / v. 2005	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Kotiranta / Kaj Franckin katu 1	120 / 24	Pitkänomainen asuinkerrostalo + pieni asuinkerrostalo	19.8.2003 / v. 2005	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Villa Arabia / Kaj Franckin katu 5	120 / 25	Pieni asuinkerrostalo	18.5.2004 / v. 2005	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	Päällekkäisyyttä salpa-seinän kanssa.

Taulukko 4.5. Arabianranta. Tietoa alueen 4 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Villa Kine / Kaj Franckin katu 5	124 / 16	Pieni asuinkerrostalo	15.6.2004 / v. 2005	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	Päällekkäisyyttä salpaseinän kanssa.
Opiskelija-asuintalo Kyllterinranta / Kaj Franckin katu 4	124 / 17	Pitkänomainen opiskelija-asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	29.6.2004 / v. 2006	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	Paalut varustettu kalliokärjin.
Helsingin MS-talo / Kaj Franckin aukio 2	124 / 18	Palvelutalo + neuvola, yhtyy toiseen rakennukseen (kortteli-rakennuksen kulmaosa)	10.5.2005 / v. 2006	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	Paalut varustettu kalliokärjin.
As. Oy Loppukiri / Arabiankatu 19	124 / 19	L-kirjaimen muotoinen senioriasuintalo, yhtyy toiseen rakennukseen	18.5.2005 / v. 2006	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Birger Kaipiaisen piha / Birger Kaipiaisen piha 3	124 / 34	3 asuinkerrostaloa	23.5.2006 / v. 2007	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	Päällekkäisyyttä salpaseinän kanssa.

Taulukko 4.6. Arabianranta. Tietoa alueen 5 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Ruukku / Birger Kaipiaisen katu 4	124 / 36	U-kirjaimen muotoinen asuinkerrostalo	23.5.2006 / v. 2007	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Helsingin Kaislat / Muotoilijanpiha 6	124 / 38	3 asuinkerrostaloa	19.12.2006 / v. 2008	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	

Taulukko 4.7. Arabianranta. Tietoa alueen 6 rakennuksista.

Virallinen nimi / Osoite	Kortteli / Tontti	Rakennuskohde	Rak.lupa myönn. / Rakennus valmis	Perustamistapa	Lisätietoja
As. Oy Kartio / Muotoilijankatu 14	124 / 26	Asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	3.4.2007 / v. 2009	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
Hoitokoti Käpytikka / Muotoilijankatu 18	124 / 25	Asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	19.6.2007 / v. 2009	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
Kiint. Oy Muotoilijankatu / Muotoilijankatu 20	124 / 31	Pitkänomainen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	19.6.2007 / v. 2009	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Ankkuri / Posliinipiha 6	124 / 39	2 asuinkerrostaloa	19.1.2010 / v. 2011	tb-paaluanturat (350 x 350 mm ²) + kantava alapohja	Käytetty vinopaaluja stabiliteetin lisäämiseksi (injektoidut teräsputkipaalut 500 x 12,5) kaltevuudessa 7:1.
As. Oy Helsingin Tila / Posliinikatu 3	124 / 27	Asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	3.4.2007 / v. 2008	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Helsingin Runko / Posliinipiha 1	124 / 29	Asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	9.10.2012 / v. 2013	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
Kiint. Oy Posliinikatu / Posliinikatu 4	124 / 42	L-kirjaimen muotoinen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	27.5.2008 / v. 2010	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Helsingin Hehku / Posliinikatu 2	124 / 43	L-kirjaimen muotoinen asuinkerrostalo, yhtyy toiseen rakennukseen	27.5.2008 / v. 2010	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	
As. Oy Helsingin Kaanaanranta / Kaanaankatu 9	124 / 44	3 asuinkerrostaloa	8.11.2011 / v. 2013	tb-paaluanturat (300 x 300 mm ²) + kantava alapohja	Käytetty vinopaaluja stabiliteetin lisäämiseksi (injektoidut teräsputkipaalut 323 x 12,5) kaltevuudessa 6:1.

5 Arabianrannan geotekniset seurantamittaukset

5.1 Käytetyt mittausmenetelmät

Arabianrannan alueelle asennettiin yhteensä 194 inklinometriputkea maakerrosten vaakasiirtymien mittausta varten vuosina 1985-2007 H:ki-geon toimesta. Putkien sijainnit tuloksineen on esitetty Liitteessä 1. Lisäksi alueella on kiinteistöjen toimesta vuosina 2001-2011 asennettuja inklinometriputkia n. 30...60. Tämän työn kirjoitushetkellä mittauskelpoisia H:ki-geon inklinometriputkia on jäljellä enää 54, joista kaksi on edellisen kerran mitattu kesäkuussa 2013 ja loput alkuvuonna 2014. Vuosien varrella osa putkista on joko rakentamisen takia tuhoutunut tai jäänyt rakennusten alle. Lisäksi osa inklinometriputkista on voinut tuhoutua ilkvallan seurauksena. Syitä inklinometriputkien mittauskelvottomuuteen on pohdittu tarkemmin luvussa 5.2.3 (Vaurioituneet inklinometriputket).

Arabianrannassa on mitattu pystysiirtymiä yhteensä 139 painumalevyn avulla. Painumalevyt sijaitsevat melko tasaisesti ympäri Arabianrannan aluetta. Suuntaa antavaa tietoa painumista on esitetty luvussa 5.2.1 (Painumat).

H:ki-geon toimesta asennettuja huokosvedenpainejärkiä on ollut Arabianrannassa yhteensä 95. Huokosvedenpaineen mitta-arvoja on haluttu eri paikoista ja maakerrosten eri syvyyksistä. Mittauksia on tehty 38 eri paikassa ja kussakin mittauskohdassa on käytetty 2–3 mittausturua eri syvyyksissä.

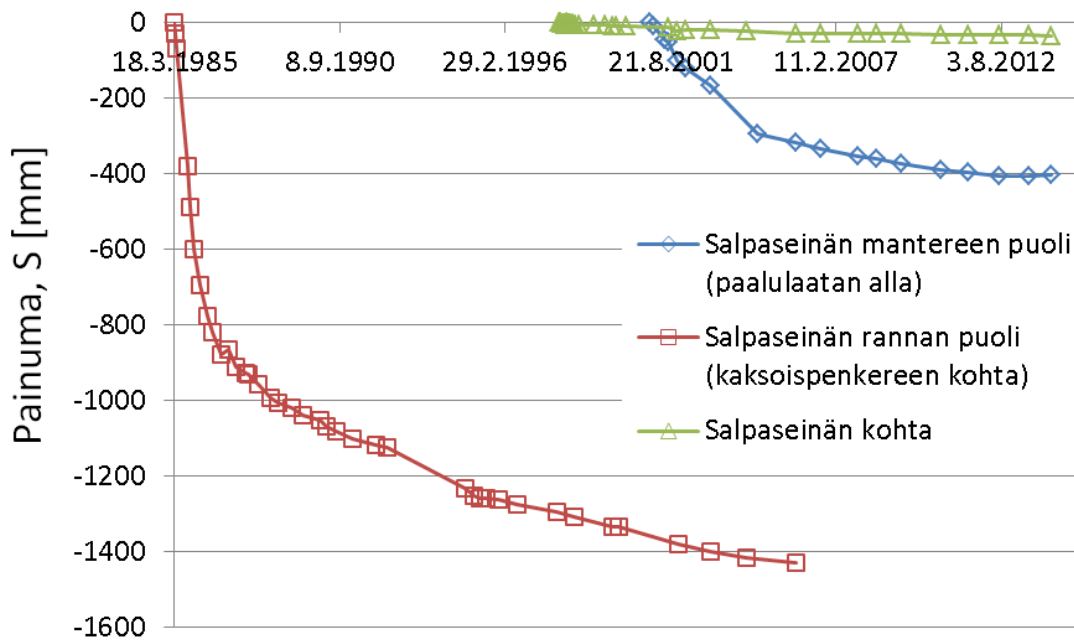
5.2 Mittaustulokset

5.2.1 Painumat

Arabianrannassa heikko maapohja täyttökerrosten alla on johtanut siihen, että painuminen on ollut koko alueella suurta. Eniten on painunut rantapuiston alue ja vähiten salpaseinän kohta sen rakentamisen jälkeen. Koska paalulaatta kantaa suuren osan salpaseinän sisämaanpuoleisista täyttökerroksista, painuma on maltillisempaa paalulaatan alapuolella, joskin siellä olevat täyttökerrokset ovat oletettavasti painuneet sen verran, että paalulaatan alapuolella on tyhjä tila.

Kuvassa 5.1. on esitetty painumamittaustuloksia rakennusalueen 1 kohdalta – salpaseinän ja rannan väliseltä alueelta, salpaseinän kohdalta ja salpaseinän mantereeseen puolelta alueelta. Painumanopeus on vuonna 1997 ollut Arabianrannan rakennusalueilla 2–6 ja rantapuiston alueella n. 10...20 mm/vuosi. Rakennusalueella 1 on havaittu jopa 30 mm/vuosi painumanopeuksia.

Painumat ovat olleet rantapenkereen (yksöispenger ja kaksoispenger) kohdalla suurimpia. Kaksoispenkereen alueella on mitattu jopa yli 2 m painumia. Painuma on ollut sitä suurempaa, mitä korkeammalla tasolla painumalevyn tarkkailutaso on ollut eli mitä korkeampi pengeri, sitä suurempi painuma. Salpaseinän kohdalla painumat ovat olleet vähäisiä.



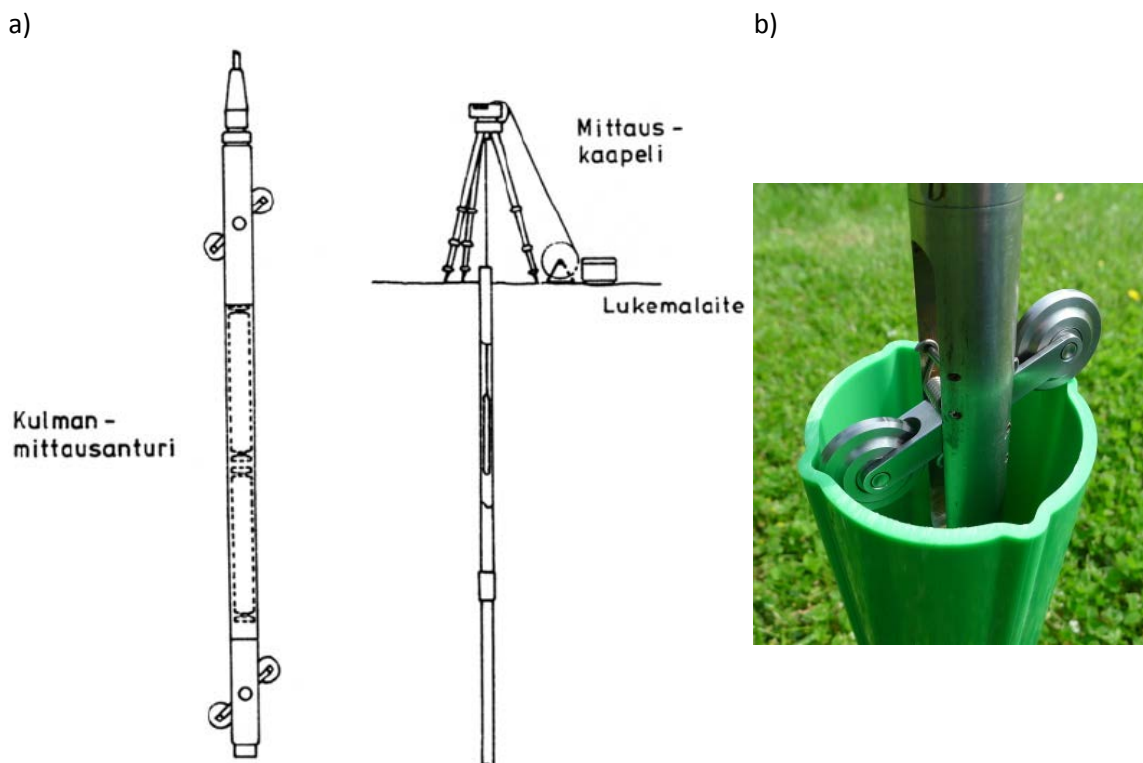
Kuva 5.1. Esimerkki mitatuista painumista (aika-painumakuvaajat) Arabianrannan 1. rakentamisalueen kohdalla. Ko. alueen salpaseinä ja paalulaatta on rakennettu v. 1997-2002.

5.2.2 Vaakasiirtymät

Inklinometriputket asennettiin Arabianrannan alueelle pohjamaan vaakasuuntaisten siirtymien mittaamiseksi sekä salpaseinärakenteen toimivuuden tarkkailemiseksi. Inklinometriputket on asennettu tasaisesti rantapuiston alueelle, salpaseinän kohdalle, sekä salpaseinän mantereen puolelle. Osaa inklinometriputkista on monitoroitu ainoastaan rakennustöiden suorittamisen aikana, mutta joistakin inklinometriputkista mittatietoa on jopa 20 vuoden ajalta.

Arabianrannassa vaakasiirtymät on mitattu manuaalisesti mitattavista inklinometriputkista. Useimpien alueella käytettyjen inklinometriputkien materiaaleista ei ole tietoa, mutta joistakin putkista tämä tieto löytyy. Inklinometriputkia on valmistettu sekä PVC-että ABS-muovista, alumiinista ja teräksestä ("huonekaluputki"). Lisäksi osa inklinometriputkista on valettu teräsbetonisten paalujen sisälle ja asennettu paalutuskoneella.

Kuvassa 5.1. on esimerkki muovisesta manuaalisesti mitattavasta inklinometriputkesta sekä mitta-anturista (inklinometristä), jossa kallistuskulman erotuksen avulla voidaan havaita putken vinous. Manuaalisesti mitattavassa inklinometriputkessa urasuunnat A ja B ovat toisiaan vasten kohtisuorassa. Mitta-anturi liukuu kiskoillaan ja tuloksista pystytään päättämään putken vinous kullakin syvyydellä. Suuresti taipuneessa inklinometriputkessa A- ja B-suuntaiset urat taipuvat ja voi olla, etteivät mitta-anturin pyörät pysy kiskoillaan. Jos inklinometriä ei saada laskettua putkessa alas saakka, se ei ole enää mitauskelpoinen. Toisaalta suuresti taipuneessa putkessa myös liitossaumat voivat pettää tai mahdollisesti raottua niin, että putki voi täyttyä esim. liejulla. Lisätietoja mittaus tekniikkaan liittyen löytyy mm. Bäcklundin tekemästä diplomityöstä "Geotekninen monitorointi Suomessa" (2013).



Kuva 5.2. Inklinometrimittalaite. a) Kaavakuva mittausvälineistöstä. (Liikennevirasto 2010) b) Esimerkki erään hollantilaisen yrityksen valmistamasta inklinometriputkesta sekä putkeen laskettavasta inklinometristä. (www.gouda-geo.com)

Inklinometrimittausten virhelähteitä

Tulkittaessa inklinometriputkien tuloksia on hyvä tietää niiden virhelähteet. Inklinometrimittausten sisäinen tarkkuus on hyvä (<2 mm/20 m) ja absoluuttinen tarkkuus kohtalainen (<4 mm/20 m). Suurin yksittäinen virhetekijä manuaalisilla inklinometrimittauslaitteilla on lämpötilaero. (Savolainen & Halkola 2001.) Sen sijaan automaattisissa inklinometrimittauslaitteissa vastaavaa lämpötilaerosta johtuvaa virhettä ei esiinny (Ylönen 2015). Savolaisen ja Halkolan (2001) suorittamien testien mukaan 20 C°:n lämpötilaero aiheutti manuaaliseen inklinometriputkeen A-suunnassa 0,25 mm/0,5 m suuruisen mittavirheen. Vastaavasti B-suunnassa mittausvirheen suuruus oli 0,12 mm/0,5 m matkalla. Siten lämpötilaerosta aiheutuneen virheen kokonaissuuruus voidaan esittää Yhtälön 5.1 mukaisesti.

$$e_{\text{lämpö.kok.}} = \sqrt{A^2 + B^2} = 0,28 \text{ mm} / 0,5 \text{ m.} \quad (5.1)$$

missä

$e_{\text{lämpö.kok.}}$	on lämpötilaerosta aiheutunut kokonaisvirhe [mm]
A	on lämpötilaerosta aiheutunut virhe inklinometrin A-suuntaan [mm]
B	on lämpötilaerosta aiheutunut virhe inklinometrin B-suuntaan [mm]

Lämpötilaeron ollessa noin 20 C° tulee inklinometrilaitteen lämpötilatasautumiseen varata aikaa vähintään 10 minuuttia tarkkuuden parantamiseksi. Inklinometrimittausten tarkkuuteen vaikuttaa myös havaintosuuntien määrä. Normaalisti käytetään kahta eri suuntaa (A ja B), mutta mittaustarkkuutta voidaan huomattavasti parantaa käyttämällä neljää suuntaa. Neljän suunnan mittauksessa inklinometrin suunnat A ja B mitataan

kahteen kertaan kääntämällä inklinometriä mittausten välissä 180°. Testissä 20 m pitkällä putkella tulosten hajonta oli 0,45 mm kahden suunnan mittauksessa ja vastaavasti neljän suunnan mittauksessa 0,25 mm. (Savolainen & Halkola 2001.)

Inklinometrien sisäinen tarkkuus johtuu useasta eri tekijästä kuten antureiden toiminnasta ja asettumiskohdasta sekä lämpötilatasautumisen vaikutuksesta. Lisäksi putken kaltevuudellakin saattaa olla vaikutusta virheen suuruuteen. Tarkkuuteen vaikuttaa myös merkittävästi se, mitä mitta-anturia käytetään ja onko se jokaisella mittauskerralla sama. Käytännössä on todettu, että mitattaessa eri laitteistoilla tuloserot voi olla jopa 1 mm/m. Inklinometriputken mittausvirheen suuruuteen vaikuttaa myös putken laatu ja materiaali. Hyvälaatuisella muovi- tai alumiiniputkella saavutetaan parempi mittaustarkkuus kuin teräksisellä ”huonekaluputkella”. (Savolainen & Halkola 2001.) Automaattisissa inklinometreissä manuaalisten antureiden mahdolliset systemaattiset mittausvirheet eivät kertaudu, sillä havaintoanturit pysyvät niissä paikallaan. Kun käytetään automaattisia inklinometrejä, ei pääse syntymään myöskään käyttäjästä tai mittalaitteen erilaisuudesta aiheutuvia virheitä. (Ylönen 2015.)

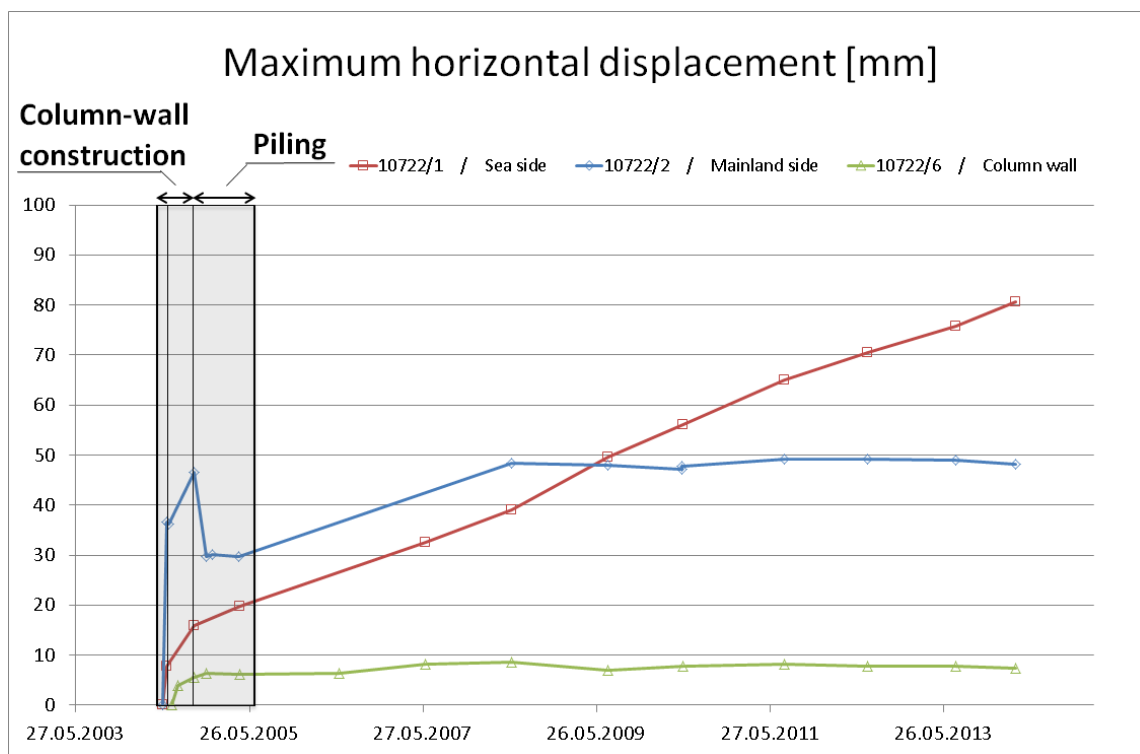
Maakerrosten vaakasuuntaiset liikkeet

Maan keskimääräiset vaakasuuntaiset liikenopeudet olivat alueella ennen salpaseinää n. 10...50 mm/vuosi. Siirtymisen suunta on ollut pääasiassa merelle päin eli itään, mutta sivusuuntaista liikettä on havaittu myös 1. rakennusalueen lähellä kohti koillista ja pohjoista. Koska Arabianrannan alueella täytöt ovat sekoittuneet epämääräisesti savikerrosten kanssa, on hyvinkin mahdollista, että paikallisesti maan sivusuuntaiset liikkeet voivat kohdistua melkein mihin suuntaan tahansa. Kuvassa 6.2. näkyvät maan sivusuuntaiset liikenopeudet vuosina 1997–2000. Salpaseinän rakentamisen sekä paalutustöiden aikana inklinometriputket olivat liikkuneet koko alueella paljon, nopeudella 5...73 mm/vuosi. Rakennustöiden jälkeen vaakasuuntaiset siirtymänopeudet ovat hidastuneet ja olleet huomattavasti pienempiä (0,4...4,6 mm/vuosi) kuin siirtymänopeudet ennen salpaseinää ja paalutusta. Maan keskimääräiset siirtymänopeudet on ilmoitettu taulukossa 5.1.

Suurin osa salpaseinän kohdalla olevista inklinometriputkista on asennettu vasta salpaseinän rakentamisen jälkeen. Asennus suoritettiin työntämällä inklinometriputki stabiilointipilariin, jonka oli annettu jähmettyä noin vuorokauden ajan. Näin menetellen inklinometriputkia ei saatu vietyä salpaseinän alapuolisiin maakerroksiin saakka, vaan ne olivat parhaassa tapauksessa alapäästään samalla korkeudella kuin salpaseinän alapinta. Tämä heikentää näiden inklinometrien luotettavuutta, sillä periaatteessa olisi mahdollista että salpaseinä liikkuisi kokonaisuutena ilman, että se paljastuisi vastaavista inklinometrituloksista. Rakennusalueella 1 on kuitenkin 6 inklinometriputkea, jotka on viety n. 2...3 m pituudelta salpaseinän alapuolisiin maakerroksiin. Kyseiset inklinometrit on asennettu jo ennen salpaseinän rakentamista ja ne ovat säilyneet ehjinä rakentamisen yhteydessä. Nämä inklinometriputket ovat myös pysyneet paikallaan, sillä suurin vaakasuuntainen liike on ollut alle 1,0 mm/vuosi. Toisin sanoen putkissa on havaittu pientä liikettä tai huojuntaa, joka on jo lähellä mittaustarkkuuden rajoja. Kyseisissä inklinometreissä ei siis ole viitteitä siitä, että salpaseinä olisi liikkeessä myöskään kokonaisuutena. Tulosten perusteella näyttää kaikkiaan siltä, että salpaseinä pysyy paikallaan. Myös muissa inklinometriputkissa siirtymät ovat olleet pieniä, joskaan mittatietoa ei ole salpaseinän alta.

Kuvissa 5.3., 5.4. ja 5.5. on inklinometrien mittaustietoa rakennusalueelta 4. Nämä inklinometriputket sijaitsevat salpaseinän mantereen puolella, rannan puolella ja salpa-

seinän kohdalla. Kaikista kolmesta inklinometristä on tuore mittatieto vuodelta 2014. Niiden perusteella sivusiirtymänopeus rakennustöiden jälkeen on ollut salpaseinän kohdalla vain 0,1 mm/vuosi. Tämänkin tuloksen perusteella näyttää siltä, että salpaseinä pysyy paikallaan. Salpaseinän rannan puolella sivusiirtymäliikkeen nopeus on ollut 6,8 mm/vuosi, kun taas salpaseinän mantereen puoleinen maa on liikkunut 2,1 mm/vuosi, vaikkakin siirtymänopeus on hidastunut viime vuosina. K-H. Korhosen (1972) mukaan Kondnerin ja Zelaskon hyperbolista sovitetta painuma/siirtymäennusteelle on voitu soveltaa myös koheesiomaille ja tämän ennustemallin mukaan salpaseinän mantereen puoleinen maa liikkuisi tällä hetkellä vain 0,1 mm vuodessa. Tämä tuntuu loogiselta, sillä salpaseinän rakentamisen jälkeen kestää jonkun aikaa, kunnes salpaseinän viereinen maa ”huomaa” paikallaan pysyvän salpaseinärakenteen, ts. maan liike hidastuu ja salpaseinää vasten kehittyy lepopaine. Siten onkin vienyt aikansa, ennen kuin maan liike on pysähtynyt salpaseinärakenteeseen ja samalla sitä vasten on kehittynyt lepopaine. Samaten lepopaineen muodostumisen ohella on maa alkanut myös konsolidoitua salpaseinärakennetta vasten. Liikkeen suunta koko tämän leikkauksen alueella on kohti itää, merelle päin.



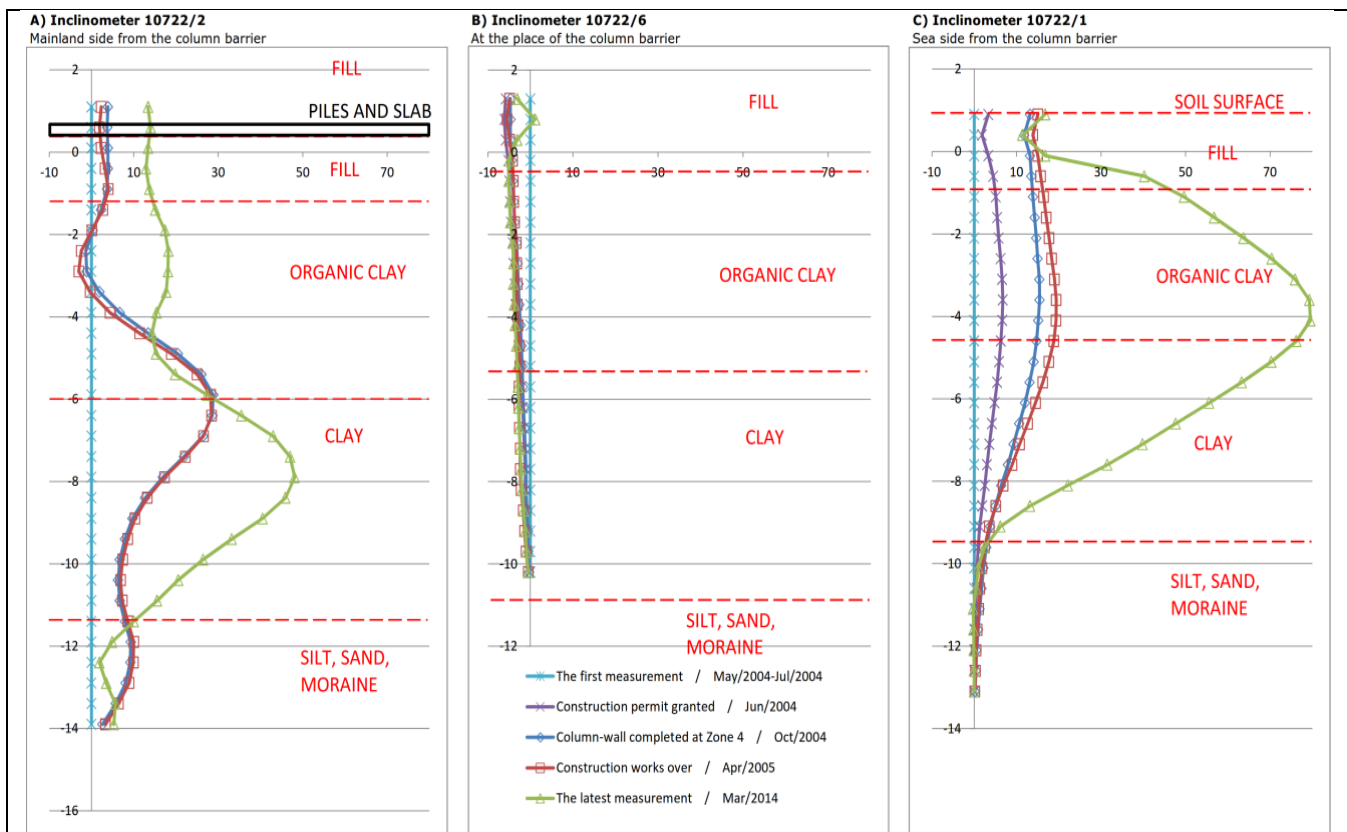
Kuva 5.3. Suurimmat vaakasuuntaiset siirtymät inklinometrimittauspisteissä 10722 / 1, 2, 6. Inklinometrit sijaitsevat rakennusalueella 4. Salpaseinän rannan puolella vaakasuuntaiset liikkeet jatkuvat.

Taulukko 5.1. Maan keskimääräinen vaakasuuntainen liikenopeus salpaseinän rakentamisen sekä paalutustöiden jälkeen Arabianrannassa (yksikkö mm/vuosi).

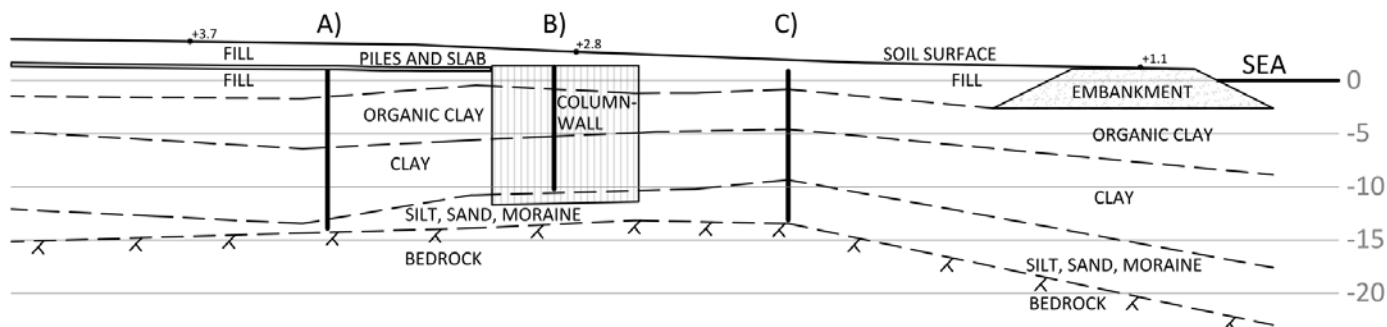
Rakennus- alue	Salpaseinän kohdalla		Maa salpaseinän rannan puolella		Maa salpaseinän mantereen puolella	
	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
1 ”pääty”	0,4	(0...1,6)	14,7	(9,7...24)	3,3	(2,5...4,1)
2	4,6	(0,4...12,4)	14,6	(14,6)	ei dataa	ei dataa
3	1,1	(0,1...3,4)	13,9	(11,2...16,6)	1,4	(0,3...2,0)
4	1,1	(0,1...2,8)	6,8	(6,8)	1,2	(0,4...2,1)
5 ”pääty”	0,7	(0...2,2)	1,8	(1,8)	2,0	(1,8...2,2)

Rakennusalue	Keskiarvo	Vaihteluväli
6 (ei salpaseinää)	2,8	(0,3...7,2)

Taulukon 5.1. perusteella näyttäisi siltä, että salpaseinän päädyt (alueet 1 ja 5) ovat liikuneet keskialueita (alueet 2–4) vähemmän. Vastaavasti mantereenpuoleinen maan liikenopeus on salpaseinän päätyjen läheisyydessä ollut nopeampi kuin keskialueilla. Kuvasta 6.9. huomataan, että alueella 1 salpaseinän päädyn vieressä kokonaisliikemäärä on ollut suuri (jopa 160 mm) ja maa on liikkunut erityisen paljon salpaseinän päädyn ympärillä. Vastaavasti kuvasta 6.10. huomataan, että alueella 5–6 salpaseinän päätyttyä, maa pääsee vapaasti siirtymään salpaseinän päädyn ohi.



Kuva 5.4. Salpaseinän länsi- ja itäpuolelle sekä salpaseinän kohdalle asennetun kolmen inklinometrin tulokset rakennusalueelta 4. x-akselilla vaakasuuntainen liike (mm), y-akselilla korko merenpintaan nähden. Siirtymien suunta kaikissa kolmessa inklinometriputkessa on kohden itää (100 gonia).



Kuva 5.5. A), B) ja C) osoittavat Kuvan 5.4 inklinometriputkien sijainnit rakennusalueella 4. Salpaseinän leveys on 14,5 m. Tämän leikkauspiirustuksen sijainti on osoitettu kuvassa 4.1.

5.2.3 Vaurioituneet inklinometriputket

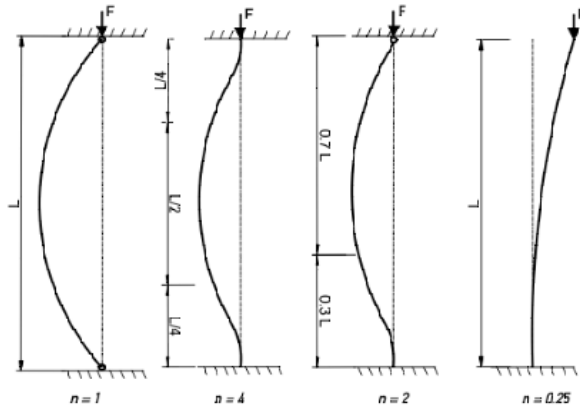
Varsinkin rantapuiston alueelta löytyi paljon inklinometriputkia, jotka olivat liejusavikerroksen kohdalla siirtyneet kiihtyvässä määrin sivulle ja lopulta muuttuneet mittauskelvottomiksi. Paras selitys tälle ilmiölle lienee se, että painuva pintamaa on aiheuttanut inklinometriputkelle negatiivista vaippahankausta ja siten saattanut putket nurjahtavaan tilaan. Kyseinen ilmiö herätti pitkään ihmetystä, kunnes laskettiin Euler-Bernoullin nurjahduskaavalla inklinometriputken nurjahduskapasiteetti. Euler-Bernoullin approksimaatio nurjahtamiselle toimii parhaiten nimenomaan erittäin pitkille ja kapeille saivoille, joten kyseisen laskukaavan pitäisi toimia varsin hyvin inklinometriputkien kohdalla. Kuvassa 5.6. näkyy esimerkki nurjahduskuorman laskennasta pitkälle teräksiselle inklinometriputkelle.

Edellä mainittu ilmiö selittäisi myös sen, miksi esim. Kuvan 5.5. kaltaiset inklinometriputket olivat sivusiirtyneet kiihtyvällä nopeudella, vaikka alueella ei ole tehty lisätäyttöjä tai muita maatöitä. Periaatteessa siirtymä/painumatilan pitäisi olla hiipuva. H:ki-geon tietojen mukaan millään inklinometriputkella ei ollut käytetty suojaputkea. Jos inklinometriputken ylimmät 2–3 metriä olisivat erillisen suojaputken sisässä, painuva maa ja siitä aiheutuva negatiivinen vaippahankaus eivät välttämättä välittäisi pystysuuntaisia voimia suoraan inklinometriputkille. Silloin niiden sivusiirtymät olisivat myös realistisempia maan sivusiirtymien kanssa.

Nurjahduskuorman laskennassa kävi myös ilmi, että inklinometriputken materiaalilla ei välttämättä ole niin paljon vaikutusta sivusiirtymiin, mutta esim. teräksisellä inklinometriputkella oli melkein 100-kertainen nurjahduskapasiteetti verrattuna muoviseen inklinometriputkeen, joka ei kestänyt negatiivista vaippahankausta käytännössä ollenkaan. 15 m pitkä teräksinen inklinometriputki kesti nurjahduskuormaa yläpäästä vain 2,5 kN.

Eulerin approksimaatio nurjautumiselle:

$n := 1$ (n=1, koska sauva on molemmista päistä nivelellinen ja silloin nurjautuspituus on yhtä suuri kuin koko sauvan (paalun) pituus.)

Factor Counting for End Conditions

$$E_{\text{teräs}} := 210 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$I := 0.8718 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 = 8.718 \times 10^{-5} \cdot \text{mm}^4$$

$$L := \frac{15.4 \text{ m} + 14.9 \text{ m}}{2} = 15.15 \text{ m}$$

$$F := \frac{n \cdot \pi \cdot E_{\text{teräs}} \cdot I}{L^2} = 2.506 \cdot \text{kN}$$

$$F = 2.506 \cdot \text{kN}$$

Huomataan, että nurjautuskuorma on olematon teräsputkelle. Negatiivinen vaippahankaus riittää nurjauttamaan kyseisen inklinometriputken.

Tässä tosin ei huomioida ollenkaan sivusuunnasta tukevaa vaikutusta, joka hieman parantaa tilannetta.

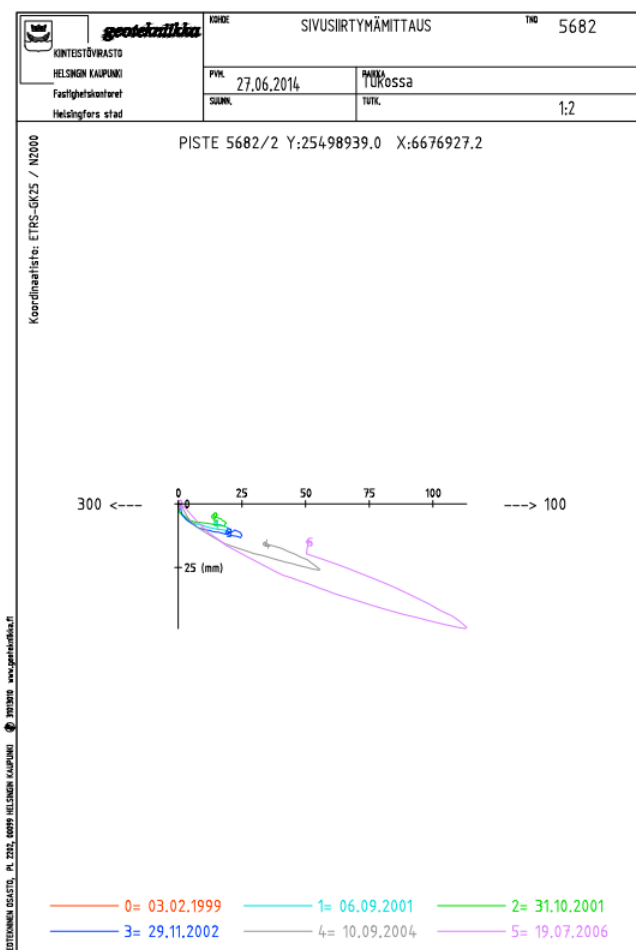
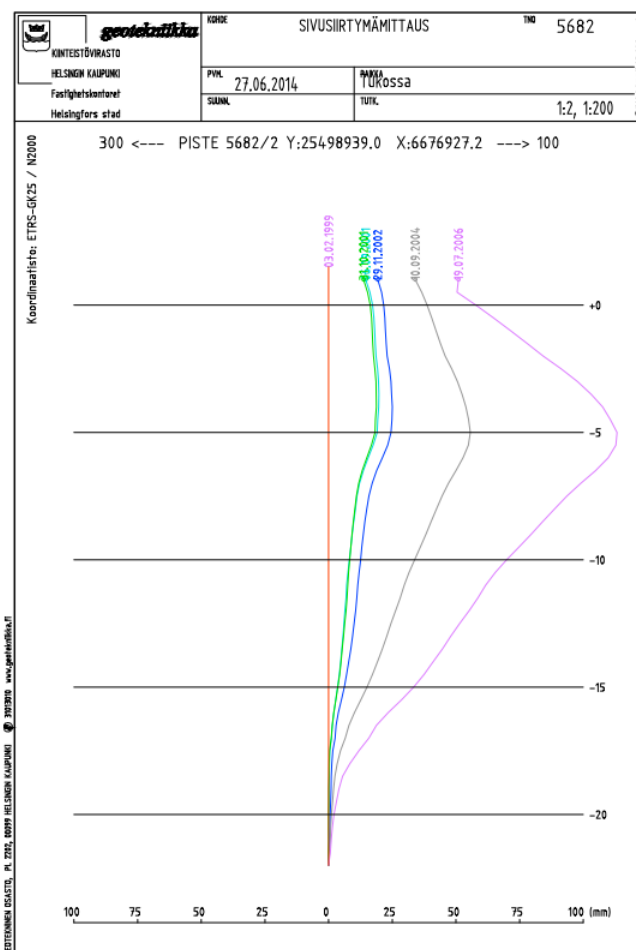
Kuva 5.6. Inklinometriputken nurjautuskuorma, laskentaote Mathcadista. Esimerkkinä 15 m pitkä teräksinen inklinometriputki, joka tuloksen perusteella kestää max. 2,5 kN suuruisen pystykuorman.

Halkaisijaltaan $d=70$ mm inklinometriputkeen kohdistui liejusavella ($s_u = 20$ kPa) negatiivista vaippahankausta maksimissaan $2 \times \pi \times 0,035 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^2 = 4,4 \text{ kN/m}$ verran. Välttämättä ei kuitenkaan vallitse tuo suurin mahdollinen kuorma, joten esim. 0,66 kertoimella negatiivista vaippahankausta kohdistuisi putken yläpäähän 2,9 kN/m. Näin ollen 15 m pitkä teräksinen inklinometriputki ei kestäisi negatiivista vaippahankausta edes 1 m mitalta.

Edellä mainittu esimerkkitapaus on laskettu sillä oletuksella, että inklinometriputki (sauva) on täysin pystysuorassa. Koska inklinometriputket ovat todellisuudessa kuitenkin aina enemmän tai vähemmän vinossa, niiden nurjautuskapasiteetti on vieläkin huomompi kuin edellä laskettaessa, sillä putkeen kohdistuu keskeisen puristuksen lisäksi myös taivutusmomenttia. Liitteen 1 taulukoissa on esitetty inklinometriputkien asennusvinouden suuruus ja -suunta. Nurjautuksen pitäisi tapahtua satunnaiseen suuntaan,

mutta maan vaakaliikkeet merelle päin ohjaavat putken taipumaa. Rantapuiston alueella oletettavasti nurjahtaneilla inklinometriputkilla nurjahduksen suunta on tapahtunut kauttaaltaan merelle päin.

Inklinometriputken nurjahtamista tarkasteltiin myös geometrisesti Kuvassa 5.8. Kun inklinometriputki painuu yläpäästään, taipuu se keskeltä eniten, minkä jälkeen putken keskikohdan vaakasiirtymä pienenee yläpään painuman kasvaessa. Kuvan 5.8. esimerkin mukaisesti 10 m pitkä inklinometriputki painuu yläpäästään 100 mm, jolloin putki taipuu keskeltä ja sivusiirtyy keskikohdastaan jopa 705 mm. Seuraava 100 mm:n painuma siirtää putken keskikohtaa vaakasuuntaan ”vain” 290 mm. Kyseinen geometrinen tarkastelu puhuisi sen puolesta, että inklinometriin nurjahtaessa vaakasiirtymänopeuden pitäisi jossain vaiheessa hidastua. Allekirjoittaneen intuitio puhuu sen puolesta, että nurjahtanut inklinometriputki kestää sitä vähemmän pystysuuntaista voimaa, mitä suuremmaksi vaakasiirtymä on ehtinyt jo kasvaa. Siten nurjahtaminen voisi tapahtua hyvinkin lyhyessä ajassa. Kyseistä asiaa olisi hyvä selvittää tarkemmin myöhemmissä jatkotutkimuksissa.



Kuva 5.7. Oikealla inklinometrin siirtymä ylhäältä päin katsottuna, vasemmalla inklinometriputken taipuma itä-länsi-suunnassa. (Helsingin Geotekninen osasto 2014)



Kuva 5.9. Tammikuun 7.–9. 2005. Talvimyrsky aiheutti tulvan, joka hankaloitti rakennustöitä. (www.gtk.fi/export/sites/fi/_system/PressReleases/kuvat/helsinki_arabianranta.jpg)

5.2.5 Vaakasiirtymien ennusteet

Vaakasiirtymiä on pyritty ennustamaan hyperbolisella muodonmuutosfunktiolla, joka näyttää sopivan joidenkin inklinometrien sivusiirtymähavaintoihin erittäin hyvin. Kyseistä sovitusta on voitu käyttää, mikäli inklinometrin havainnointiaika on ollut pitkä, havaintojen kokonaismäärä riittävä sekä sivusiirtyminen hiipuvaa.

Hyperbolisten funktioiden soveltuvuuden hiekoille on tarkemmin esittänyt mm. Kondner & Zelasko (1963). Samaa menetelmää on soveltanut myöhemmin Korhonen (1972 & 1977), joka on osoittanut samaisen sovitteen toimivan myös koheesiomaalajien painuma-/vaakasiirtymäennusteissa.

Edellä mainitulla hyperbolisella menetelmällä sovitettiin siirtymäennusteet osaan Arabianrannan inklinometreistä. Approksimaatiossa x-akselilla on aika ja y-akselilla aika/painuma. Havaintoarvot asetuvat muunnetussa koordinaatistossa likipitään suoralle viivalle kuten nähdään Kuvasta 5.10. Näyttää siltä, että aika/siirtymä-aika -kuvaajan kulmakerroin on pysynyt suunnilleen vakiona. Suureneva aika/siirtymä -arvo kertoo siitä, että liike on hidastumassa. Osoittaja (aika) voi vain kasvaa. Nimittäjä (siirtymä) kasvaa myös, mutta on hidastumaan päin. Kuvasta 5.11. ilmenee, että ennustefunktio sopii erittäin hyvin mittaushavaintoihin. Hyperbolinen ennustefunktio on esitetty Yhtälössä 5.2. Yhtälön nimittäjässä on termit a ja b . Ne on esitetty tarkemmin Yhtälöissä 5.3. ja 5.4.

$$S = \frac{t}{1/v_0 + t/S_f} \quad (5.2)$$

missä S on siirtymä [mm]
 S_f on loppusiirtymä [mm], kun $t \rightarrow \infty$
 t on aika [vrk]
 v_0 on alkunopeus [mm/päivä]

$$a = 1/v_0 \quad (5.3.)$$

missä a on initiaalitangenttimoduuli eli alkunopeuden kulmakerroin (Kuvassa 5.10. sovitesuoran vakiotermi 11,217)
 v_0 on alkunopeus [mm/päivä]

$$b = t/S_f = 1/k \quad (5.4.)$$

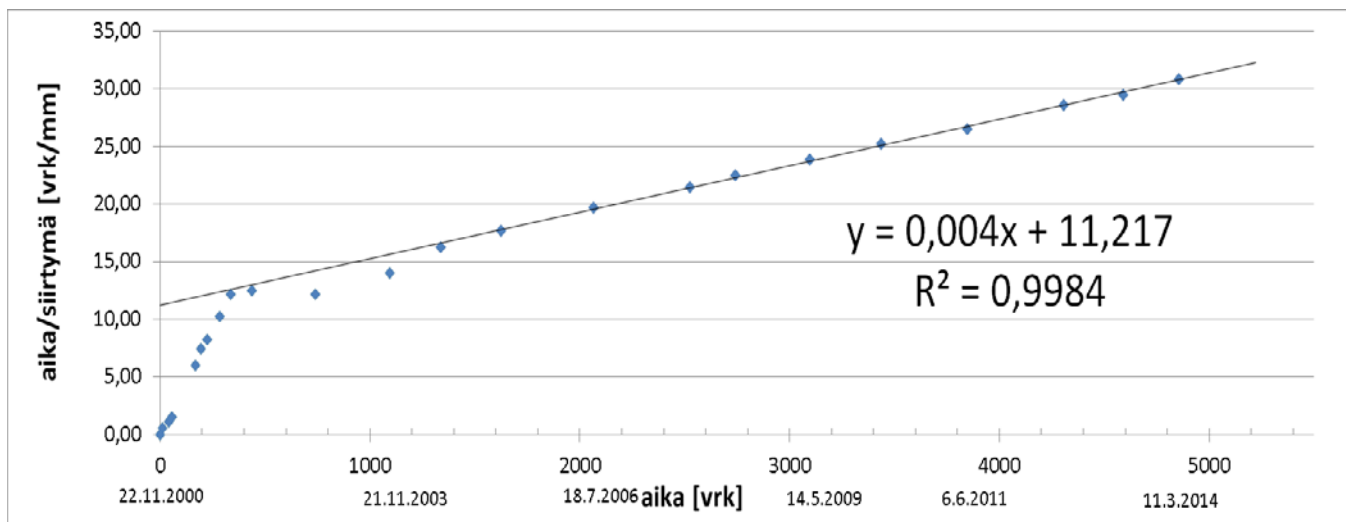
missä b on apusuoran ja y-akselin leikkauspisteen aika/siirtymä-arvo (Kuvassa 5.10. sovitesuoran kulmakerroin 0,004)
 t on aika [vrk]

Koska painuvalla tai sivusiirtyvällä maalla siirtymävauhti oli hiipuvaa, voidaan edellä esitettyjen Yhtälöiden (5.2.–5.4.) sekä hyperbolisen soviteen avulla laskea myös loppusiirtymä ajan lähestyessä ääretöntä. Loppusiirtymä S_f saadaan laskettua Yhtälöstä 5.5.

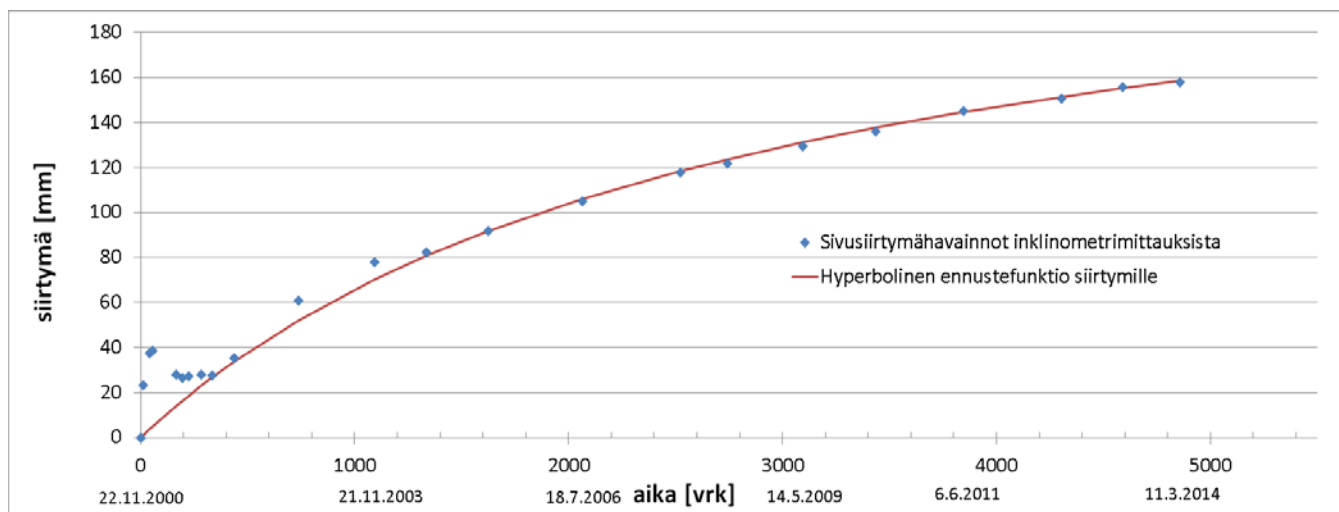
$$S_f = 1/b \quad (5.5)$$

missä S_f on loppusiirtymä [mm]
 b on apusuoran ja y-akselin leikkauspisteen aika/siirtymä-arvo (Kuvassa 5.10. sovitesuoran kulmakerroin on 0,004)

Taulukossa 5.2. on esitetty eri inklinometreihin sovitettujen yhtälöiden sivusiirtymäennusteet ja -tulokset. Eri laskentapisteille tehdyt hyperboliset ennustefunktiot on esitetty Liitteessä 9.



Kuva 5.10. Inklinometrin 10027/26 aika/painuma-aika –kuvaaja. Kuvan suora on muodostettu käyttäen yhtätoista viimeisintä havaintoa.



Kuva 5.11. Inklinometrin 10027/26 sivusiirtymähavainnot sinisellä. Punainen viiva kuvastaa havainnoista muodostettua hyperbolista sovitefunktiota.

Taulukko 5.2. Siirtymäennustesovituksia mittausdataan.

Mittauspisteen tunnus / sijainti	Viimeisin mittaus [pvm] / sivusiirtymätulos [mm]	Ennustettu kokonais-sivusiirtymä 1.1.2050 [mm]	Ennustettu lopullinen kokonais-sivusiirtymä [mm]	Sivusiirtymä-nopeus 2014-2015 [mm/vuosi]	Sivusiirtymä-nopeus 2050-2051 [mm/vuosi]	Sovituksen korrelaatio-kerroin, R ² -arvo
10027/26 / 1.alue salpaseinän rannan puoli	11.3.2014 / 158	216	250	4,2	0,6	0,9984
10027/51 / 1.alue salpaseinän alkupään vieressä	7.3.2014 / 87	106	115	1,5	0,2	0,9992
10592/3 / 3.alue sisämaan puoli	2.1.2014 / 42	50	52	0,8	0,0	0,9775
10722/2 / 4.alue sisämaan puoli	25.3.2014 / 49	49	49	0,1	0,0	0,9975

6 Salpaseinärakenteen toimivuuden analysointi mitaustulosten perusteella

6.1 Alueellisen siirtymätilan arviointi

Pohjamaan vaakasiirtymät

Salpaseinä itsessään vaikuttaa pysyvän paikallaan, mutta maa salpaseinän mantereen puolella on rakennustöiden jälkeen liikkunut vauhdilla 1...5 mm/vuosi pääasiassa kohti itää tai päätyjen alueilla osittain salpaseinän myötäisesti. Salpaseinän rannanpuoleinen maa on ollut sitäkin kovemmassa liikkeessä kohden merta, sillä liikenopeus on ollut keskimäärin 7...24 mm vuodessa.

Salpaseinämän etelä- ja pohjoispäätyjen läheisyydessä (1. ja 5. rakennusalueilla) maan sivusuuntaiset liikkeet ovat olleet suurempia verrattuna salpaseinän keskiosiin 2, 3 ja 4. Tämä voisi selittyä sillä, että maa pääsee päätyjen kohdalla kiertämään salpaseinämää. Toisaalta esim. 1. päätyalueen liikkeet ovat hidastumassa niin mantereen kuin rannankin puolella salpaseinää. Osalla rannanpuoleisista inklinometreistä vaakasiirtymänopeus on sen sijaan kiihtynyt mittaus mittaukselta, minkä jälkeen mittausta ei ole voitu enää tehdä. Onkin mahdollista, että kyseiset inklinometriputket ovat nurjahtaneet.

Savikerrokset konsolidoituvat koko ajan, joten siirtymien tulisi hidastua ja savimaan painuma- ja sivusiirtymänopeuden pitäisi olla hiipuvaa (Korkiala-Tanttu 1984). Suurimmat siirtymät savikerroksissa ovat tapahtuneet heti rakentamistoimenpiteiden jälkeen ja ennustesovitefunktioiden mukaan liikkeet ovat hidastumassa.

Salpaseinän vaakasiirtymät

Salpaseinärakenteen vaakasuuntaiset liikkeet ovat olleet niin maltillisia, että seinämäraakenteen voidaan katsoa pysyvän paikallaan kaikilla alueilla. Vaikka salpaseinän märkästabiloitua koerakennetta pidettiin korkeisiin lujuustavoitteisiin nähden epäonnistuneena (Vähäaho 2002), tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että koerakenneosio toimii ja salpaseinän liikenopeus koerakenneosion kohdalla on ollut keskimäärin vain 0,4 mm/vuosi, mikä on pienin liikenopeus koko salpaseinän alueella.

Vaikuttaa siltä, että keskimääräinen maan liikenopeus salpaseinän päätyjen läheisyydessä (alueet 1 ja 5) on ollut hieman suurempaa verrattuna maan liikkeisiin salpaseinän keskivaiheilla (alueet 2, 3 ja 4). Salpaseinän liikenopeus päätyjen kohdalla on ollut hieman pienempää verrattuna salpaseinän keskiosioihin. Tämä voi selittyä sillä, että kun maa pääsee kiertämään salpaseinän päätyjen ympäri, ei liiketilassa oleva maa päätyjen lähellä mobilisoi salpaseinään yhtä suurta vaakasuuntaista maanpainetta kuin salpaseinän keskiosiin.

6.2 Maan siirtymänopeudet ennen salpaseinän rakentamista (1997)

Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston geoteknisellä osastolla laaditun sivusiirtymänopeuskartan perusteella (Kuva 6.1.) huomataan, että ennen salpaseinän rakentamista maan siirtymänopeus on ollut 10–50 mm/vuosi. Nopeinta maan liike on ollut rantapuis-

ton alueella sekä Arabianrannan rakennusalueella 6. Kyseisen kuvan tietoja on täydennetty ja siitä on tehty värikarttaversio (Kuva 6.2.).

Maan liikesuunta Arabianrannassa on ollut lähes koko alueella merelle päin eli itään, lukuun ottamatta rakennusaluetta 1, jossa suunta on ollut myös koilliseen päin. Sivusiirtymät koilliseen selittynevät sillä, että kyseisen alueen koillispuolelle on aiemmin läjitetty maata. Lisäksi on huomattava, että paalulaatta kantaa sen päällä olevat täyttökerrokset, kun taas paalulaatan ulkopuolella on enemmän täytöstä aiheutuvaa kuormaa. Tästä saattaa muodostua stabiliteettiongelma paalulaatan reuna-alueella paaluihin päin kuten kohdassa 8.1 (Salpaseinän toimivuus suhteessa paalutukseen) todetaan.

Siirtymänopeuskarttakuvat sekä kokonaissivusiirtymäkartta (Kuvat 6.2–6.10) on laadittu Surfer (versio 10) –ohjelmalla. Ohjelmaan syötetään inklinometriputkien sijaintien x- ja y-koordinaatit (ETRS-GK25) sekä kyseisen mittauspisteen lukuarvo (tässä tapauksessa vaakasiirtymänopeus [mm/vuosi] tai kokonaisvaakasiirtymä [mm]). Syötetyn datan perusteella ohjelmalla luodaan värikartta. Värikartan tasokäyrät on luotu käyttäen geotilastotieteessä käytettyä Kriging-menetelmää. Se perustuu Gaussin normaalijakaumalliseen tilastointiin, jonka on havaittu sopivan hyvin juuri geotekniikkaan ja muuhun luonnontieteelliseen arviointiin. (Krige 1951.) Värikarttojen tekemisessä kokeiltiin myös muita vaihtoehtoja, mm. suora kolmioverkko - sekä 'nearest neighbour' -menetelmiä, mutta nämä siirtymänopeuskartat eivät näyttäneet realistisilta.

6.3 Maan siirtymänopeudet rakentamisen jälkeen (2002–2014)

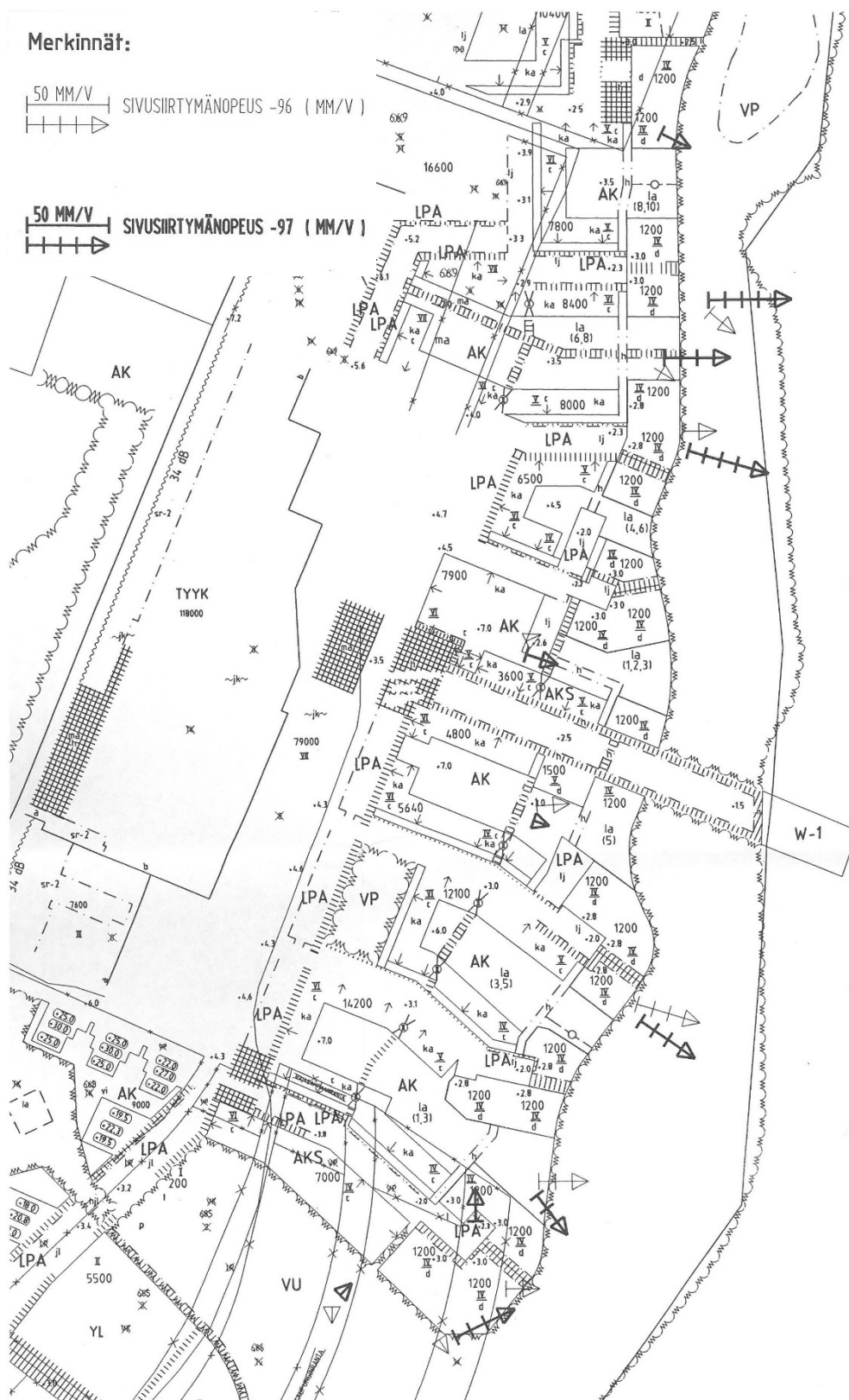
Maan vaakasiirtymänopeudet kunkin inklinometriputken kohdalla on laskettu alueittain koontitaulukoihin (Liite 1). Taulukoiden tulosten pohjalta on laadittu siirtymänopeusvärikartat (Kuvat 6.3 – 6.7 ja Liitteet 4 ja 7). Kuvat 6.4. ja 6.5. ovat osakopioita Kuvasta 6.3.

Inklinometriputket ovat liikkuneet paljon paalutuksen ja salpaseinän rakentamisen aikana, mutta pohjarakenteiden toimivuuden kannalta on oleellisempaa tietää rakennustöiden jälkeiset maan liikkeet. Kartasta (Kuva 6.3.) voidaan päätellä, että salpaseinä toimii itsessään hyvin, sillä viimeisimpien mittausten mukaan salpaseinän kohdalla sijainneet inklinometriputket ovat liikkuneet nopeudella 0–1 mm/vuosi. Siirtymänopeudet ovat niin vähäisiä, että ne ovat jo virhemarginaalia pienempiä.

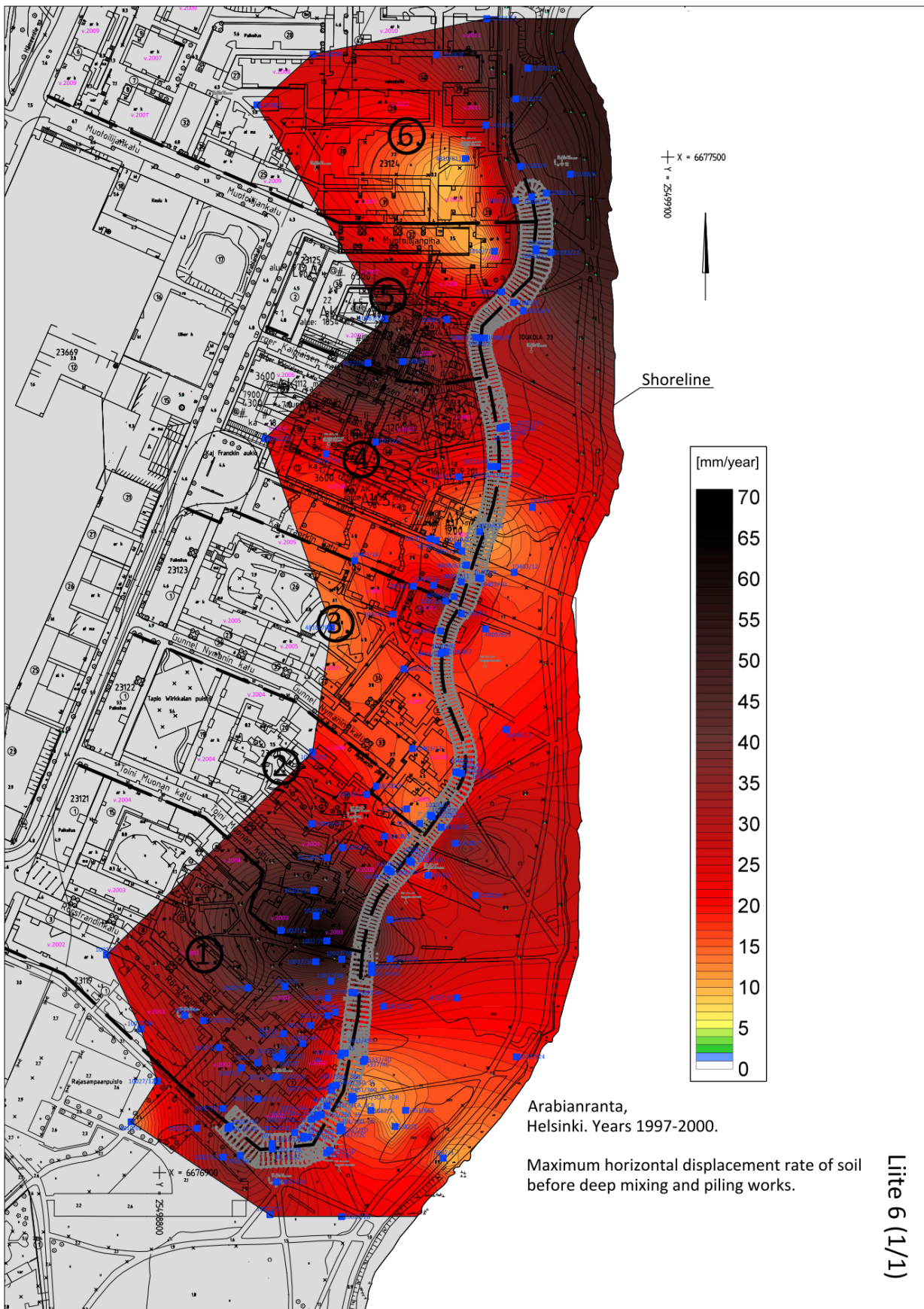
Kuvan 6.3. kartasta näkyy myös, että salpaseinän rannan puolella maan liikkeet ovat olleet melko suuria (jopa 26 mm/vuosi). Salpaseinän mantereen puolella liike sen sijaan on ollut huomattavasti pienempää (keskimäärin 0...5 mm/vuosi). Samalla alueella on kuitenkin ollut muutamia inklinometriputkia, jotka tulosten perusteella ovat liikkuneet suuremmalla nopeudella (7 mm/vuosi), mutta tällöin tarkasteluajan pituus on ollut todella lyhyt. Kokonaissivusiirtymäkartan (Kuva 6.8.) perusteella maan kokonaisliikkeet näillä alueilla ovat jääneet vähäiseksi. Salpaseinän päätyjen lähistöllä liike on suurempaa (7...11 mm/vuosi). Huomionarvoista on myös se, että vanhassa v. 1997 tehdyssä Helsingin Geon piirustuksessa (Kuva 6.1.) maan liikesuunta salpaseinän alkupään kohdalla on ollut koilliseen (10 mm/vuosi). Sama liike näyttäisi jatkuvan edelleen, tosin hieman maltillisemmalla nopeudella (6,5...7 mm/vuosi). Maa vaikuttaisi liikkuvan kohden paalulaatan reunaa mahdollisesti siksi, että paalutuksen kohdalla maanpaine on pienempi.

Kuvasta 6.9. nähdään, että maa on liukunut salpaseinän eteläpään ohi paalulaatan reunan alle. Alueen 1 kohdalla mittausaika on pitkä (n. 12 vuotta). Maan siirtyminen koilliseen selittyy sillä, että paalulaatan ulkopuolella maanpinnan taso on selvästi korkeammalla kuin paalulaatan alapinta sekä laatan alle painuneiden täyttöjen yläpinta. Ko. kohdalla paalulaatan alle suuntautuvien liukupintojen, joita salpaseinä ei ole pysäyttä-mässä, varmuus ei ole tiedossa.

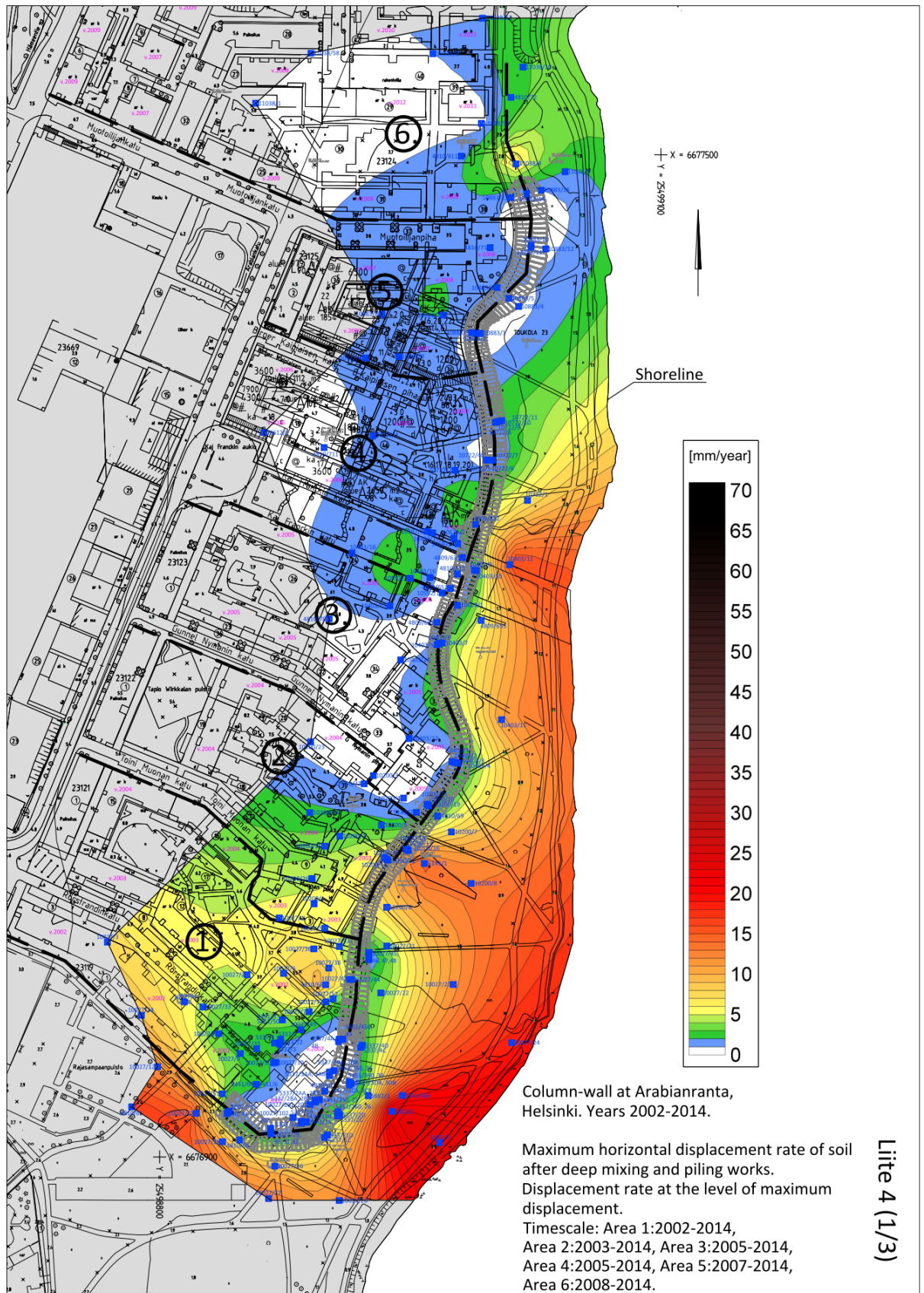
Alueiden 5 ja 6 rajalla, salpaseinän pohjoispäädyn vieressä maan tämänhetkinen vaakaliike on itään ja koilliseen päin (Kuva 6.10.). Vaikuttaa siltä, että salpaseinän päättyessä maa pääsee siirtymään kohti merta. Kyseisellä alueella maan liikkeet eivät näy kokonaisvaakasiirtymäväriskartassa (Kuva 6.8.) lyhyen tarkasteluajanjakson (6-7 v.) vuoksi, mutta liike voidaan päätellä vaakasiirtymänopeusväriskartasta (Kuva 6.10).



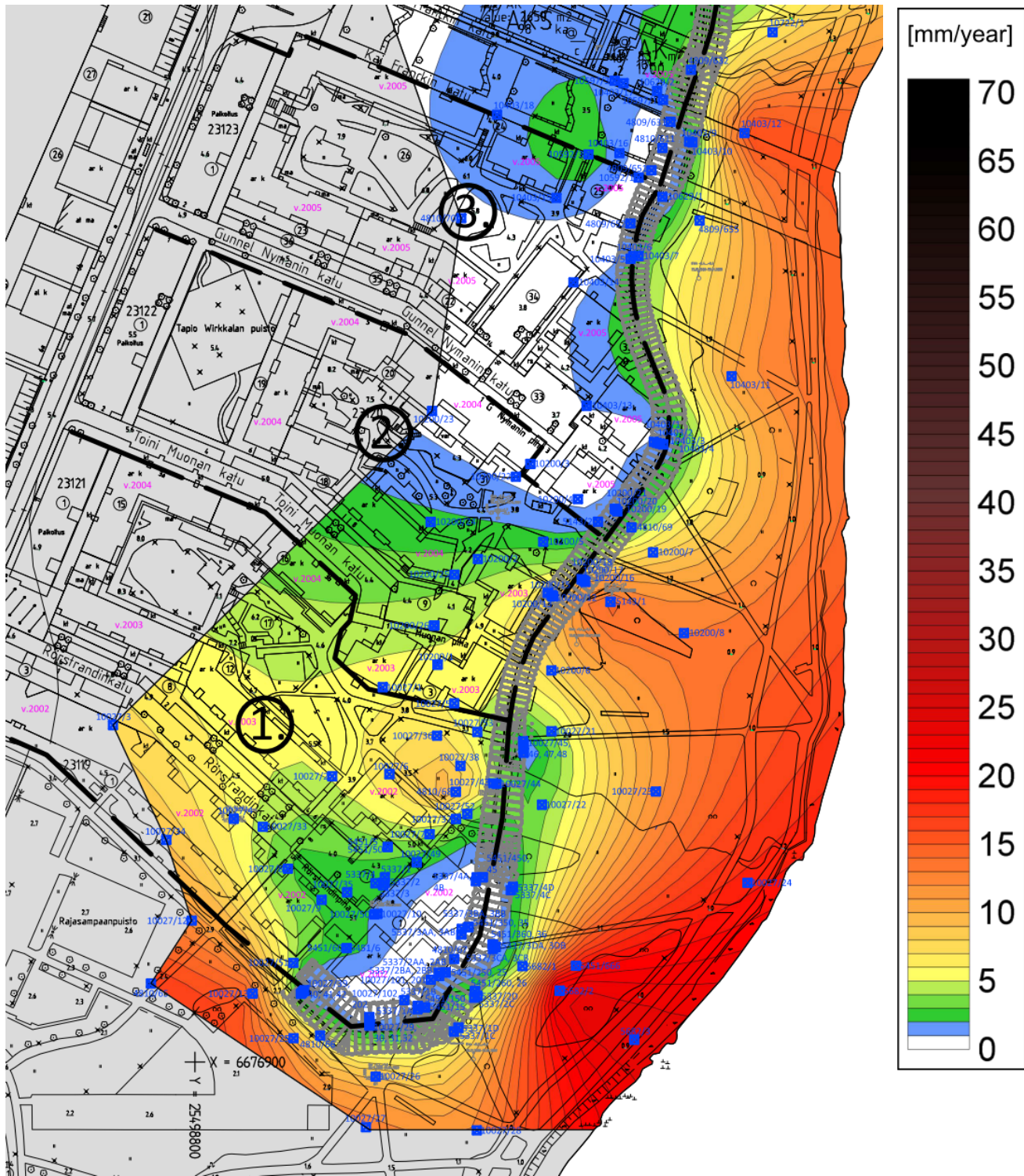
Kuva 6.1. Arabianrannan sivusiirtymänopeudet ja -suunnat 1997, muokattu. (Vähäaho 1997)



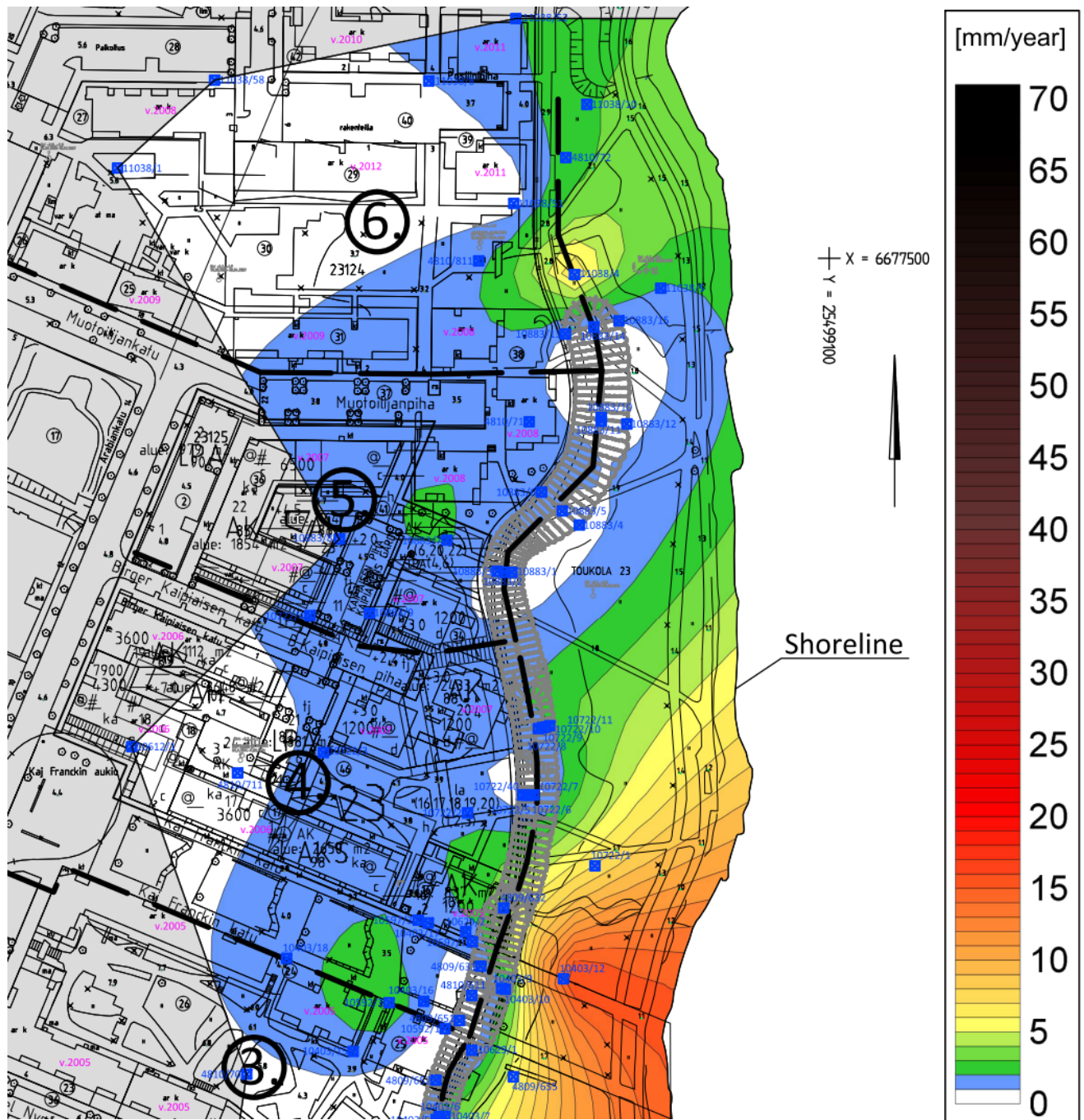
Kuva 6.2. Arabianranta. Inklinometrimittaustuloksista määritetyt pohjamaan suurimmat vaakasiirtymänopeudet ennen rakennustöitä (1997–2000). Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



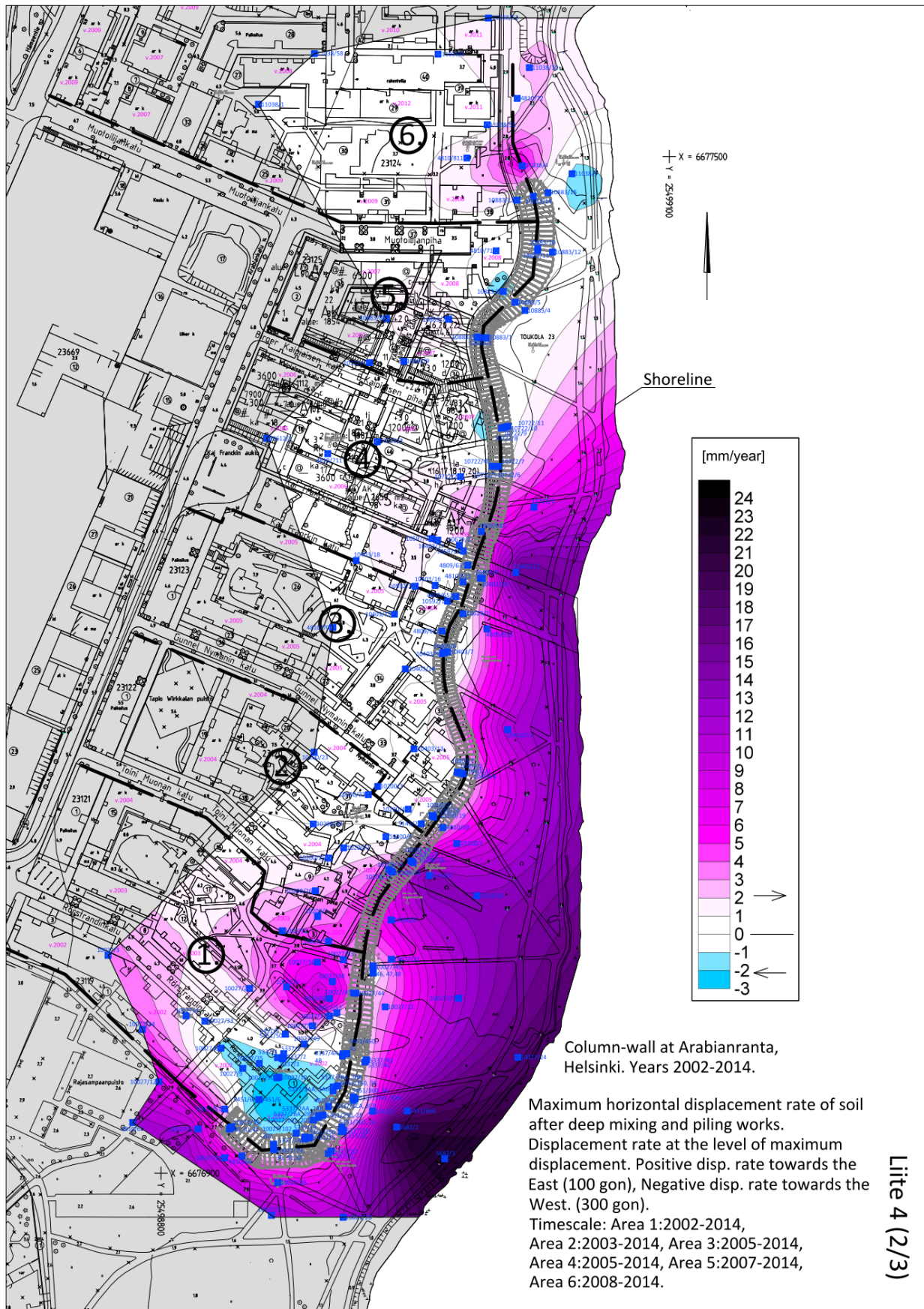
Kuva 6.3. Arabianranta. Inklinometrimittaustuloksista määritetyt pohjamaan suurimmat siirtymänopeudet rakennustöiden jälkeen (2002–2014). Alueen 1 tarkastelu-aika: 2002–2014, A2:2003–2014, A3:2005–2014, A4:2005–2014, A5:2007–2014, A6:2008–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



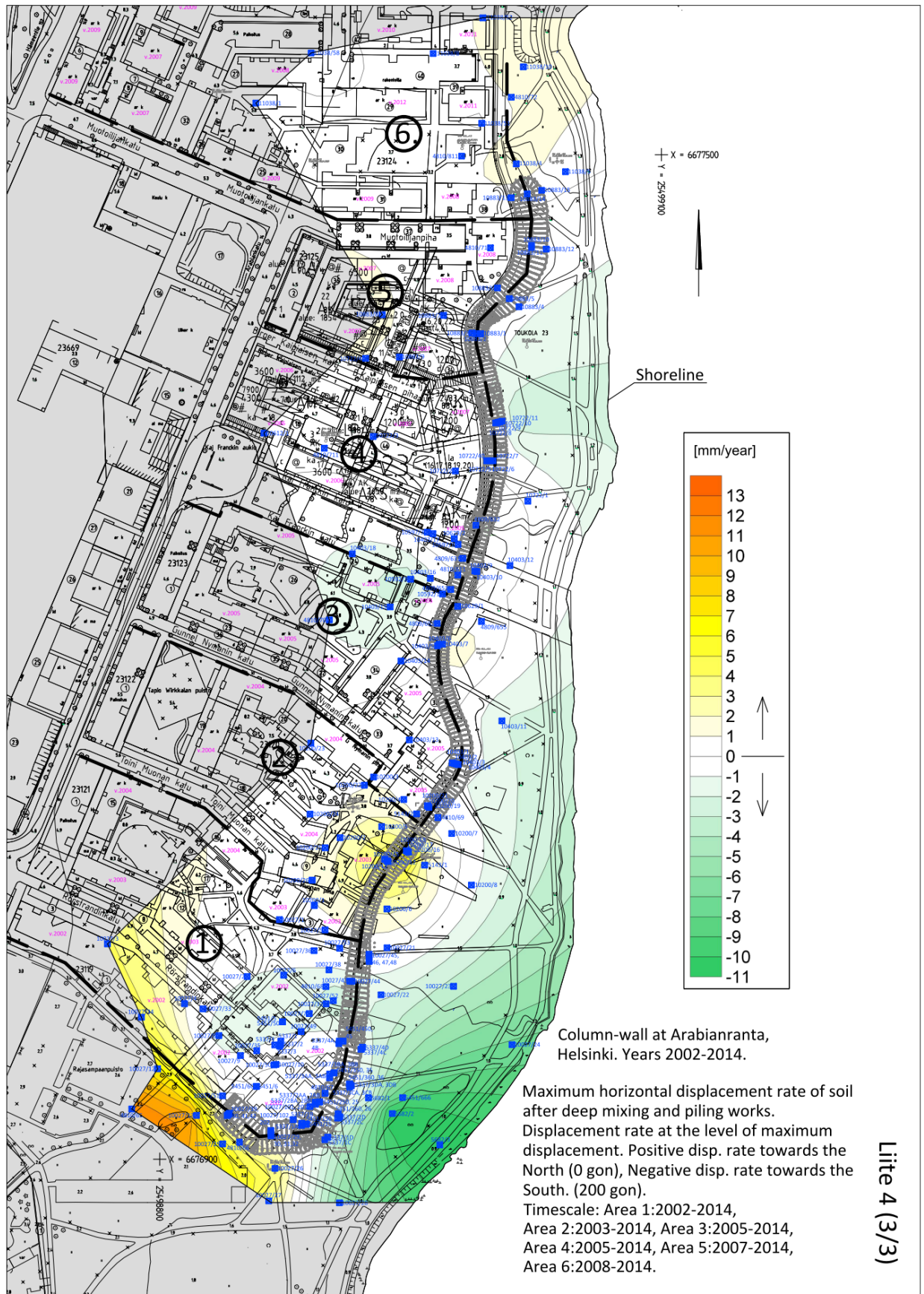
Kuva 6.4. Arabianranta, osakopio kuvasta 6.3. Inklinometrimittaustuloksista määritetyt pohjamaan sivusiirtymänopeudet rakennustöiden jälkeen (2002–2014), alueet 1–3. Alueen 1 tarkastelu-aika: 2002–2014, A2:2003–2014, A3:2005–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



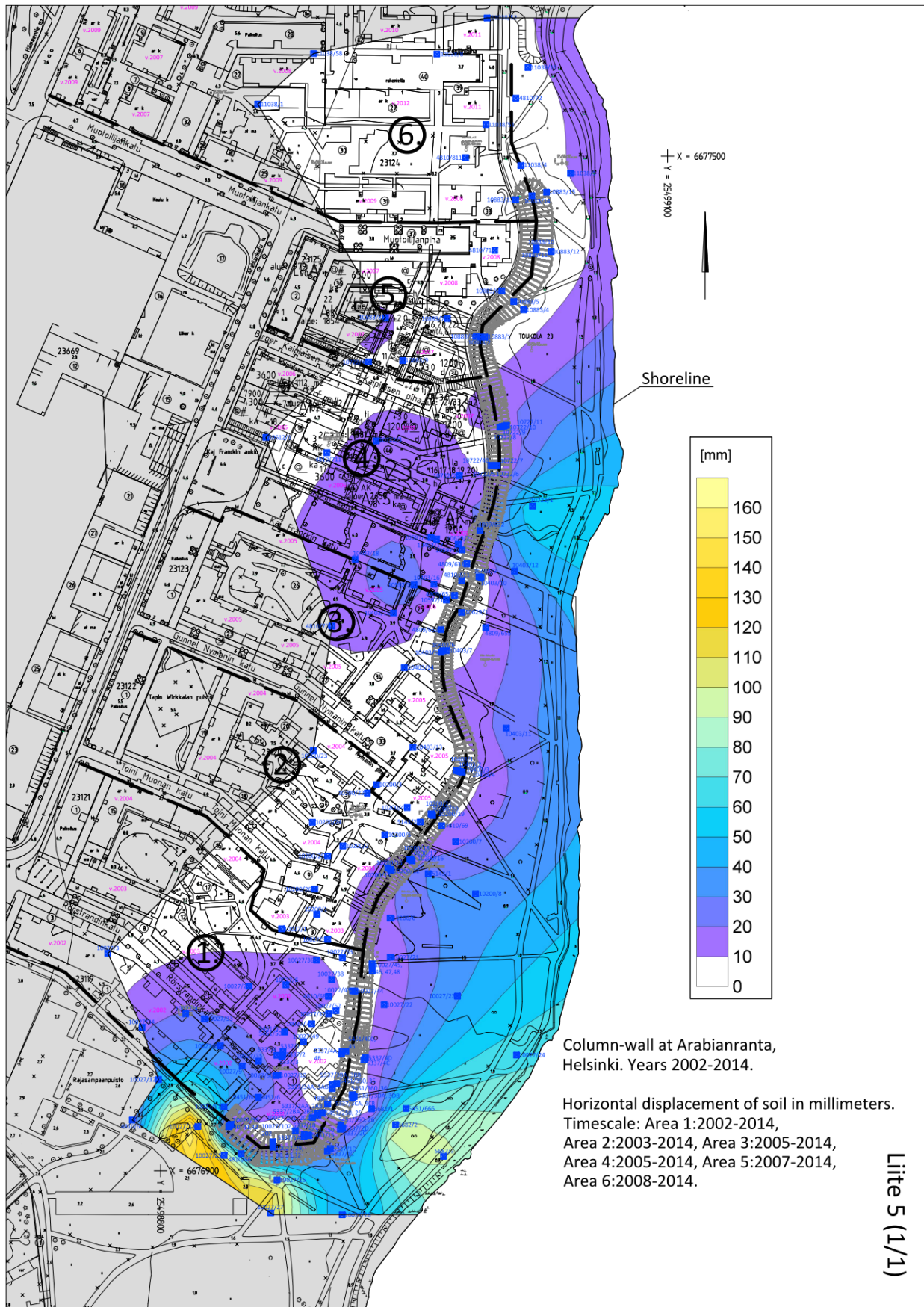
Kuva 6.5. Arabianranta (osakopio kuvasta 6.3). Inklinometrimittaustuloksista määritetyt pohjamaan sivusiirtymänopeudet rakennustöiden jälkeen (2005–2014), alueet 3–6. Alueen 3 tarkasteluaika: 2005–2014, A4:2005–2014, A5:2007–2014, A6:2008–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



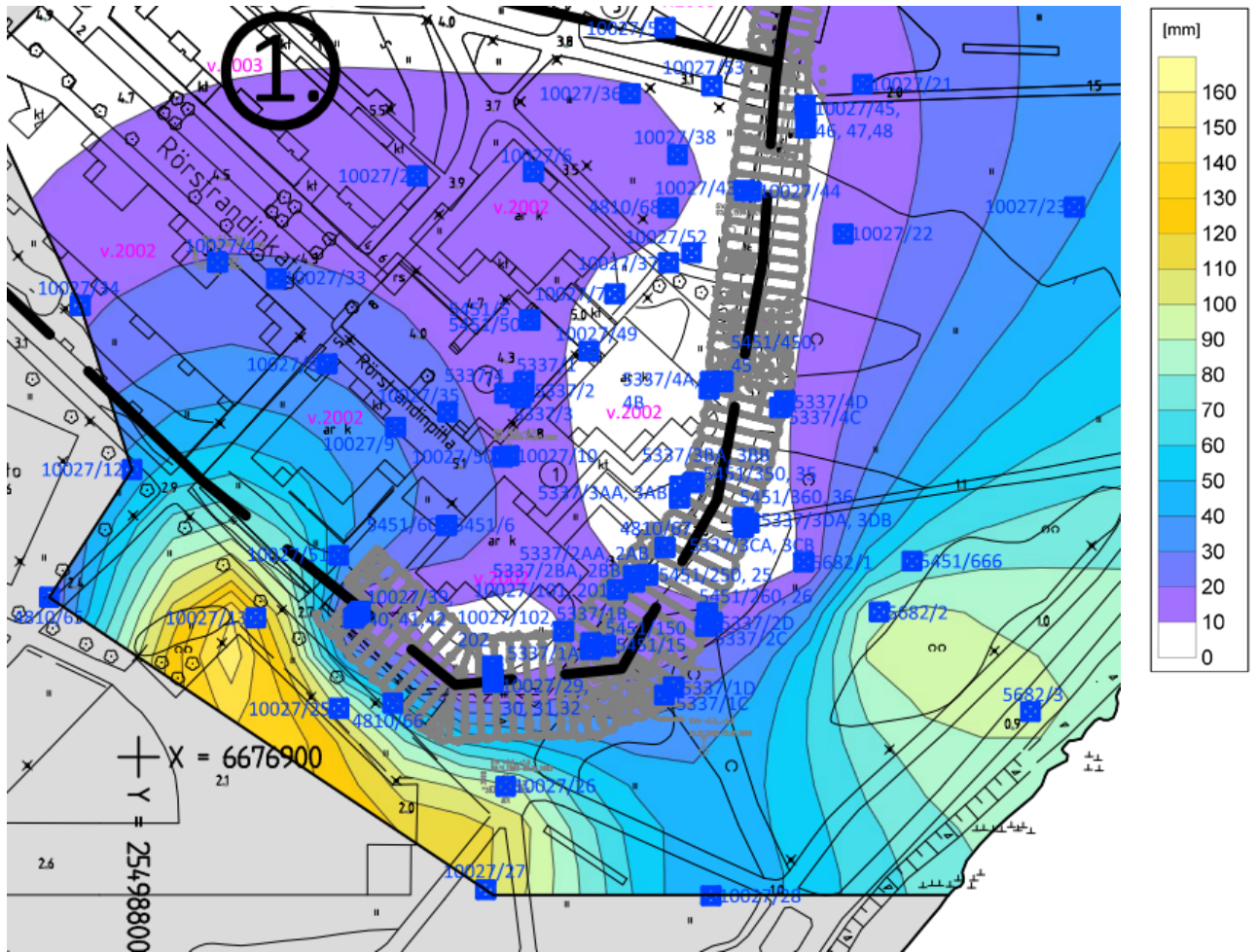
Kuva 6.6. Arabianranta. Suurimmat sivusiirtymänopeudet itä-länsi-suunnassa rakennustöiden jälkeen. Alueen 1 tarkasteluaika: 2002–2014, A2:2003–2014, A3:2005–2014, A4:2005–2014, A5:2007–2014, A6:2008–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän tasosta.



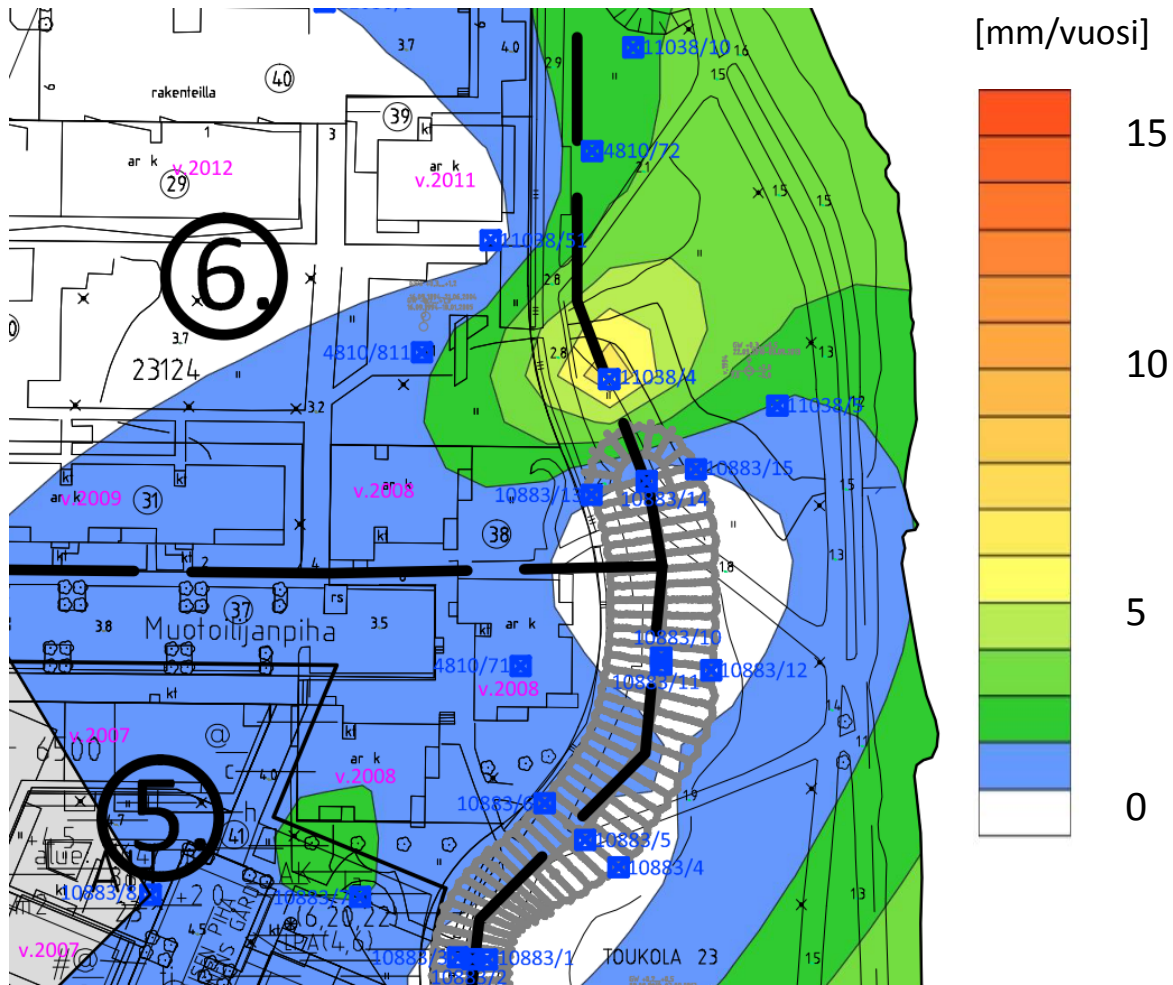
Kuva 6.7. Arabianranta. Suurimmat sivusiirtymänopeudet pohjois-etelä-suunnassa rakennustöiden jälkeen. Alueen 1 tarkastelu aika: 2002–2014, A2:2003–2014, A3:2005–2014, A4:2005–2014, A5:2007–2014, A6:2008–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän tasosta.



Kuva 6.8. Arabianranta. Rakennustöiden jälkeiset suurimmat maan sivusiirtymät. Alueen 1 tarkastelu-aika: 2002–2014, A2:2003–2014, A3:2005–2014, A4:2005–2014, A5:2007–2014, A6:2008–2014. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymä riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



Kuva 6.9. Osakopio kuvasta 6.8. Maan vaakasuuntaiset kokonaissiirtymät rakentamistöiden jälkeen. Maa on liikkunut paalulaatan alle sekä salpaseinän pään ympäri. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymä riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.



Kuva 6.10. Osakopio kuvasta 6.5. Maan vaakasuuntaiset kokonaissiirtymänopeudet rakennustöiden jälkeen. Salpaseinän päätyessä maa pääsee vapaasti siirtymään kohti merta. Kuvaan on valittu kustakin putkesta mitattu suurin siirtymänopeus riippumatta siirtymän suunnasta tai tasosta.

7 Salpaseinärakenteen FEM-mallinnus

7.1 Laskentapoikkileikkauksen valinta

Arabianrannan salpaseinärakenne mallinnettiin yhdestä poikkileikkauksesta alueelta 4 (Kuva 7.3.). Alue soveltui hyvin mallinnukseen, sillä vuonna 2014 mitattuja inklinometriputkia löytyi sekä rannan että mantereen puolelta salpaseinää ja myös salpaseinän kohdalta. Tämän kohdan maakerrokset olivat hyvin tiedossa. Kyseisen laskentaleikkauksen kohdalta löytyi myös huokosvedenpainetuloksia kahdesta mittauspaikasta (kaksi huokosvedenpaineen mittauskärkeä per mittauspaikka) sekä painumamittaustuloksia. Lisäksi laskentaleikkaus oli salpaseinärakenteen keskialueella, joten 2D-malli soveltui tähän hyvin.

7.2 Materiaalimallit, parametrit ja geometria

7.2.1 Parametrien määrittäminen

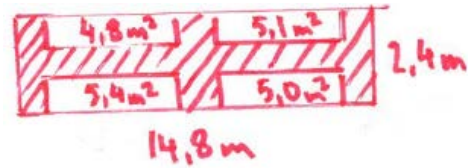
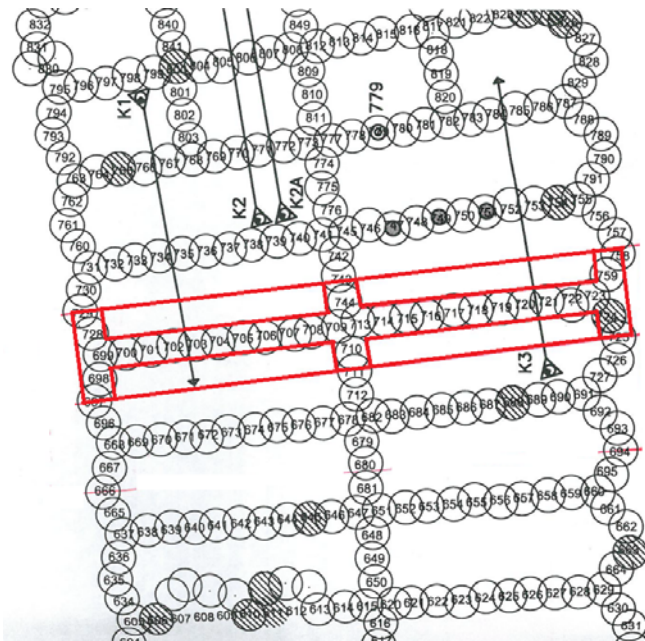
Parametrit määritettiin käytettävissä olevan parhaan tiedon mukaisesti. Arabianrannasta on suuri määrä tutkimustietoa mallinnuksella tehtävää takaisinlaskentaa varten. Taulukoissa 7.1.a-b on esitetty PLAXIS-2D-mallissa käytetyt materiaalimallit sekä laskentaparametrit eri maakerroksille. Arabianrannan tutkimustuloksien lisäksi on parametrien määrittämisessä hyödynnetty myös ”Paaluperustuksiin kohdistuvien sivukuormien vähentäminen – Toukorannan suojaseinä” –diplomityötä (Hartman 2008) sekä ”Kyläsaa-ren esirakentaminen (Arcada 2)” -laskentaraaporttia (Perkkiö, Forsman & Korhonen 2010). Taulukossa 7.1 esitetyt lujuusparametrit ovat linjassa Arabianrannassa tehtyjen kolmiaksaalikoetulosten kanssa.

7.2.2 Stabiloidun salpaseinän parametrien keskimääräistäminen

Salpaseinärakenteen parametrien keskimääräistäminen tehtiin poikkipinta-alojen/tilavuuksien suhteessa. Kuvasta 7.1. nähdään salpaseinän toteutuneita stabilointipilareita 4. alueen kohdalta. Kuvasta on rajattu ja mitattu lamellin pinta-ala A_{kok} , samoin kuin sen sisällä pinta-ala A_{savi} ja A_{stab} . Suhteen $A_{\text{stab}}/A_{\text{kok}} = 42,8 \%$ perusteella on salpaseinälle laskettu keskimääräinen tilavuuspaino γ sekä kimmokerroin E näiden stabilointipilareiden ja maamassan painotettuina keskiarvoina. Ko. laskutoimitukset on esitetty Liitteessä 10. Kimmomoduulit pilareille on laskettu syvästabiloinnin suunniteluohjeen (2010) mukaan (Yhtälö 7.1.).

$$E = 20\tau^{1,6} \quad (7.1.)$$

missä E on kimmomoduuli [kPa]
 τ on pilarin kriittinen leikkausjännitys [kPa]



$$A_{\text{kok}} = 14,8 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m} = 35,5 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{kok}} = A_{\text{savi}} + A_{\text{stab}}$$

$$A_{\text{savi}} = 20,3 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{stab}} = 15,2 \text{ m}^2$$

$$a = \frac{A_{\text{stab}}}{A_{\text{kok}}} = 42,8\%$$

Kuva 7.1. Arabianranta. Stabiloidun maamassan keskimääräistäminen 2D-laskentamallia varten. Kuvassa on esitetty myös toteutettujen laadunvalvontakairausten sijainteja.

7.2.3 Kolmioverkko ja lähtötilanne

Mallinnus suoritettiin tasotapauksena (Plane strain), sillä salpaseinä oli pitkä ja FEM-mallinnettu poikkileikkaus ei ollut lähellä salpaseinän päätyä. Mallin alapinnassa ja sivureunoilla käytettiin normaaleja liukutukia (standard fixities). Mallin sivuilla tuet pitävät mallin reunat sivusuunnissa paikoillaan, mutta pystysuunnassa liike on mahdollista. Vastaavasti alhaalla oleva tuki mahdollistaa sivusuuntaisen liukumisen, mutta ei pystysuuntaista liikettä. Mallin alalaidassa (peruskalliota) siirtymät ovat mitättömiä verrattuna maassa tapahtuneisiin liikkeisiin.

Sivutukien käyttö on perusteltua mm. sen takia, että mallin oikean laidan ulkopuolella vallitsee vastaavan suuruinen maanpaine. Toiseksi, suurimmat täytöt eivät ole mallin reunojen lähistöllä, joten myöskään suurimmat pysty- ja vaakaliikkeet eivät ole tapahtuneet siellä. Mallin vasemmalla laidalla sivutuen käyttö on perusteltua, sillä paalulaatta jatkuu rajan molemmiin puolin. Myös vasemmasta laidasta on riittävä etäisyys salpaseinään ja rantapenkereeseen, jonka läheisyydessä tutkimuksen kannalta oleellimmat maan liikkeet tapahtuvat. Mallin kolmioverkko on muodostettu Kuvan 7.2. mukaisten maakerrosten pohjalta.

Taulukko 7.1.a) Arabianranta. PLAXIS-malliin syötetyt parametrit.

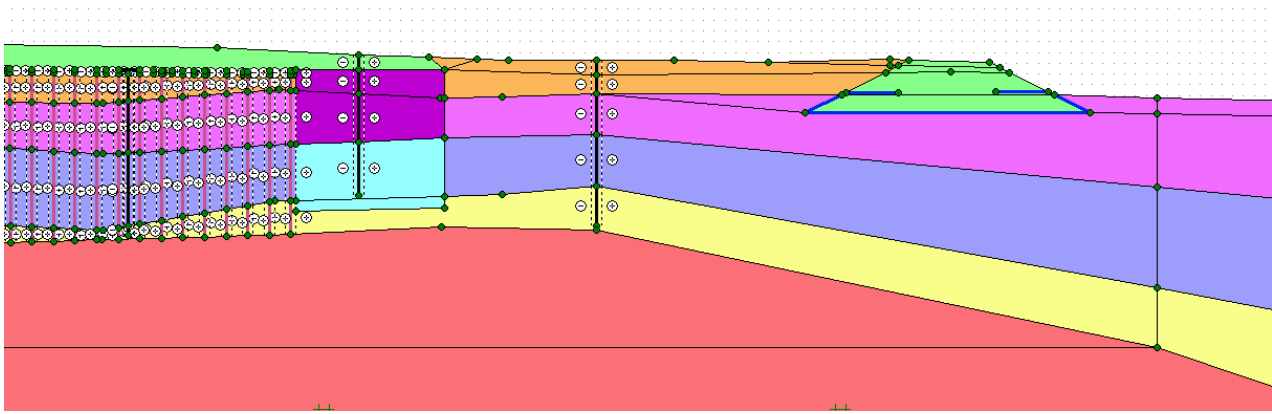
Mallinnettava kerros	Organic clay (gyttja)	Clay	Fill	Miscellaneous fill	Moraine, sand, silt
Väri					
Maamalli	Soft soil	Soft soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Tilavuuspaino ^x , γ [kN/m ³]	14	15	20	16	21
Teh. koheesio, c' [kN/m ²]	3,2	5,6	1	10	0,2
Teh. kitkakulma, ϕ' [°]	17	22	33	26	34
Dilataatiokulma, ψ [°]	0	0	5	0	4
Huokosluku, e	3,2	2,4	0,7	1,8	0,55
Huokosveden johtavuus	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained	Undrained (A)	Drained
Vedenjohtavuus, k [m/päivä]	3,456E-05	5,184E-06	10	10	0,6
Poissonin luku, ν [-]					
Youngin moduuli, E [kN/m ²]					
λ^*	0,15	0,2			
κ^*	0,015	0,02			
E_{50}^{ref} [kN/m ²]			4,50E+04	5,00E+03	1,50E+04
E_{oed}^{ref} [kN/m ²]			4,50E+04	5,00E+03	1,50E+04
E_{ur}^{ref} [kN/m ²]			1,35E+05	2,00E+04	4,50E+04

^x Tilavuuspainoissa on käytetty samoja arvoja saturoimattomalle (γ_{unsat}) ja täysin saturoituneelle (γ_{sat}) maalle.

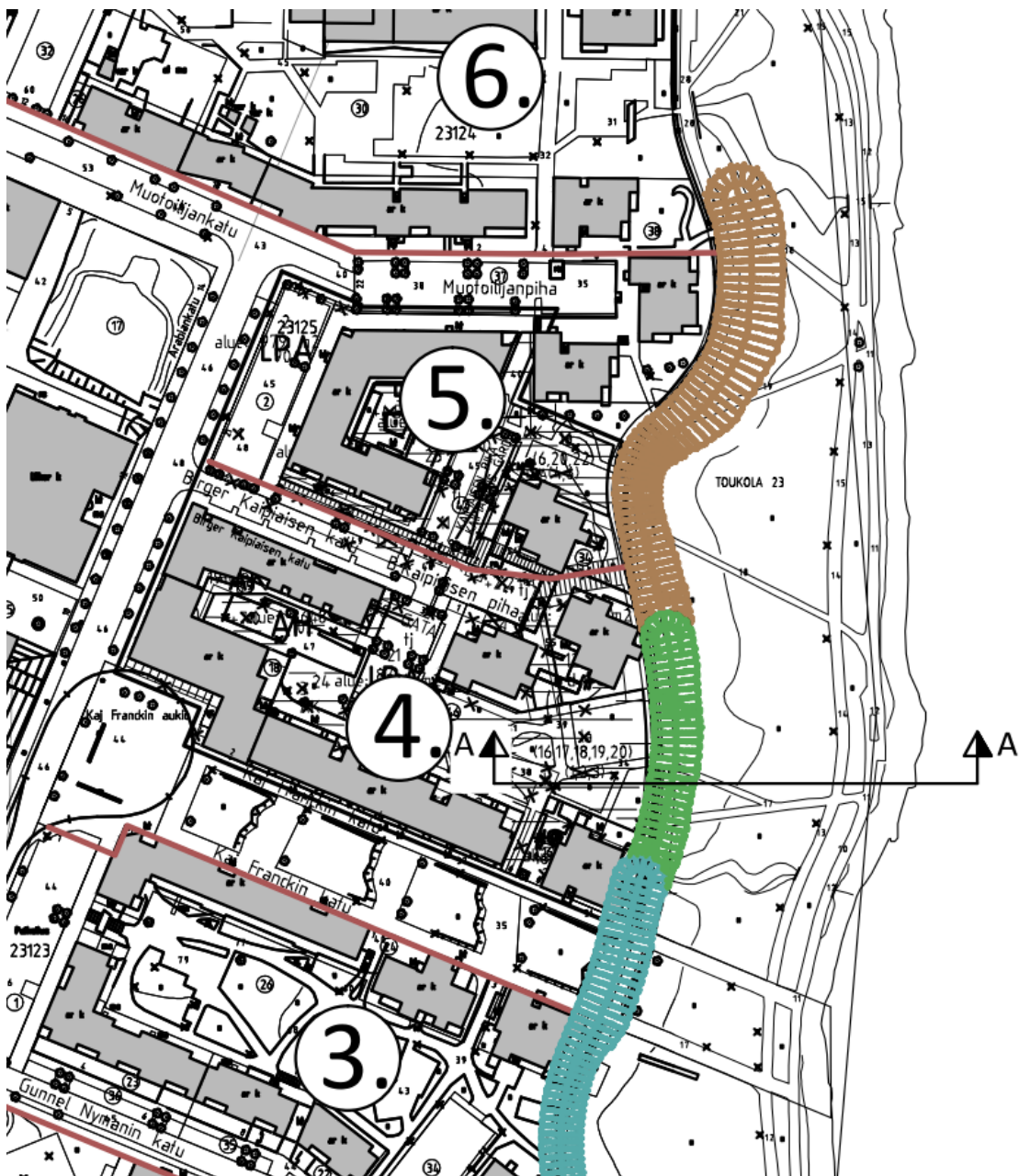
Taulukko 7.1.b) Arabianranta. PLAXIS-malliin syötetyt parametrit.

Mallinnettava kerros	Column-wall upper part	Column-wall lower part	Bedrock	Concrete
Väri				
Maamalli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Linear elastic	Linear elastic
Tilavuuspaino ^x , γ [kN/m ³]	15	16	27	25
Teh. koheesio, c' [kN/m ²]	10	10		
Teh. kitkakulma, ϕ' [°]	45	45		
Dilataatiokulma, ψ [°]	15	15		
Huokosluku, e	2,4	1,85	0,1	0,1
Huokosveden johtavuus	Non-porous	Non-porous	Non-porous	Non-porous
Vedenjohtavuus, k [m/päivä]				
Poissonin luku, ν [-]	0,3	0,3	0,1	0,15
Youngin moduuli, E [kN/m ²]	1,25E+05	3,41E+05	5,00E+07	3,10E+10
λ^*				
κ^*				
E_{50}^{ref} [kN/m ²]				
E_{oed}^{ref} [kN/m ²]				
E_{ur}^{ref} [kN/m ²]				

^x Tilavuuspainoissa on käytetty samoja arvoja saturoimattomalle (γ_{unsa}) ja täysin saturoituneelle (γ_{sat}) maalle.



Kuva 7.2. Arabianranta. PLAXIS-mallin geometria. Suurennos mallin keskeltä.



Kuva 7.3. FEM-mallinnetun poikkileikkauksen sijainti Arabianrannan alueella 4.

7.2.4 Materiaalimallit

Liejusavi- sekä savikerroksille käytettiin pehmeille maakerroksille soveltuvaa Soft Soil -mallia (SS). Salpaseinän ylä- ja alaosille käytettiin Mohr-Coulombin materiaalimallia (MC) ja peruskalliolle sekä betonille Linear elastic -mallia. Täytölle, sekalaiselle (koheesiomaa) täytölle sekä moreeni-hiekka-siltti -kerrokselle käytettiin Hardening Soil -mallia (HS).

Moreeni-hiekka-siltti -kerroksessa kokeiltiin sekä HS-mallia että MC-mallia. MC-mallilla inklinometriputkien alapää ei painuneet, kun taas HS-mallilla salpaseinän sisäiset siirtymät olivat lähempänä mitattua tietoa. HS-malli mahdollisti paremmin sen, että salpaseinä voi kiertyä paikallaan, eli moreeni-siltti-hiekka -kerros jousti jonkin verran salpaseinän alla. Lopulta hiekka-siltti-moreeni -kerrokselle käytettiin HS-mallia, sillä siitä saadut havainnot vastasivat parhaiten mitattua tietoa. Tosin mallinnettujen inklinometriputkien pystysuuntainen siirtymä jätettiin vähemmälle huomiolle ja keskityttiin niiden vaakasiirtymiin.

7.2.5 Rajapinnat

Laskentamallissa käytettiin rajapintoja (interfaces) kaikille paaluille sekä inklinometriputkille. Maamateriaalikohtaisesti määritettiin rajapinnan arvot, joiden perusteella malli tietää, kuinka hyvin rakenteen pintaan kohdistuvat maan siirtymät välittyvät rakenteisiin. Jos rajapinnan R_{inter} arvo on 1,0, tarkoittaa se sitä, että maan siirtymisestä rakenteen pintaan kohdistuvat voimat välittyvät täysmääräisinä rakenteisiin (tässä tapauksessa paaluihin). Jos R_{inter} arvo on 0, niin vastaavasti kolmioverkossa tapahtuneet rakenteen pintaan kohdistuvat liikkeet eivät lainkaan välity rakenteisiin. Taulukosta 7.2. käyvät ilmi eri maamateriaaleille määritellyt R_{inter} -arvot.

Taulukko 7.2. Arabianranta. Rajapintojen R_{inter} -arvot PLAXIS-mallissa.

Mallinnettava kerros	R_{inter}
Organic clay (gyttja)	0,50
Clay	0,50
Fill	0,67
Miscellaneous fill	0,60
Moraine, sand, silt	1,00
Column-wall upper part	1,00
Column-wall lower part	1,00
Bedrock	1,00
Concrete	1,00

Mallissa lujat materiaalit (Salpaseinä, kallio, teräsbetoni ja moreeni-hiekka-siltti -kerros) valittiin rajapintojen osalta täysin jäykiksi ($R_{inter}=1,0$), samoin kuin moreeni-hiekka-siltti -kerros, sillä inklinometriputkien ja paalujen alapäiden haluttiin pysyvän mallissa paikallaan, jotta tilanne vastaa likimain todellisuutta. Pehmeille savi- ja liejusavikerroksille määrättiin rajapinnan R_{inter} -arvoksi 0,50, jotta maa voi liukua paalujen tai inklinometriputkien ohi. Jos R_{inter} -arvo olisi ollut lähellä 1,0:aa paalut ja inklinometriputket olisivat kiinnittyneet täysmääräisesti maakerrosten kolmioverkkoon.

Täytön ja sekalaisen (koheesiomaa) täytön materiaalien osalta määrättiin R_{inter} -arvoiksi 0,67 ja 0,60. Siten maa voi liikkua inklinometrien tai paalujen ohitse, mutta toisaalta liikkeet olisivat kuitenkin pienempiä verrattuna savi- ja liejukerroksiin, sillä kyseiset maamateriaalit ovat näitä pehmeitä maakerroksia lujempia ja jäykempiä.

7.2.6 Paalut ja inklinometriputket

Paalut ja inklinometriputket mallinnettiin 2D-FEM-mallissa ”kätkeytinä paaluriveinä” (Embedded pile row). ”Kätkeyty paalurivi” mahdollistaa sen, että maa voi tarpeen mukaan siirtyä näiden rakenteiden ohi, vaikka paalurivi ottaisi vastaan osan maan siirtymistä. ”Kätkeyty paalurivi” –ominaisuus antaa 2D-laskentamallille lisää käytettävyyttä, sillä 2D-rakenteessa yhteneväinen seinärakenne ottaisi vastaan kaikki maan siihen kohdistamat sivusuuntaiset kuormat. Heikkoutena tässä ”kätkeytyn paalurivin” –ominaisuudessa on se, että paalut eivät voi PLAXIS-mallissa nurjahtaa. Näin ollen esimerkiksi inklinometriputkien nurjahtamista negatiivisen vaippahankauksen takia ei voi mallintaa tätä ominaisuutta käyttämällä.

7.2.7 Rakentamisvaiheet mallinnuksessa

Kuvassa 7.4. näkyvät mallinnuksessa käytetyt rakennusvaiheet. Alueen 4 rantapuisto tehtiin vuosina 1984–1986, jolloin rakennettiin yksittäinen penger nykyisen rantaviivan kohdalle rannan suuntaisesti. Alueiden 4–6 rantapuiston kohta on rakentunut rantapenkereestä ja 100...150 m välein rakennetuista poikkipenkereistä, joiden väliin on muodostunut altaita. Myöhemmin altaat on täytetty sekalaisella koheesiomaalla. (Pirinen 1984.)

Alueella eri vuosina tehdyistä kairauksista on voinut tehdä päätelmiä pinnantasauksesta. Myös tarvittavat salpaseinän ja rakennusten rakentamisajankohdat ovat riittävän tarkasti tiedossa. Varsinkin rantapenger on painunut runsaasti ja laskentamallin mukaan painuman suuruus vuosien 1986 ja 2004 välillä olisi yli 1,2 m. Lisäksi vuosina 2004–2014 rantapenger on laskentamallin mukaan painunut n. 0,5 m. Kairaustietojen perusteella vaikuttaa siltä, että rantapenkereen kohtaa on korotettu n. vuonna 1992. Laskentamallin mukaan liian suuri korotus kerralla johti pohjamaan (ja mallin) sortumaan, joten mallissa täytyi varata aikaa konsolidoitumiselle ja pehmeikön yläosan lujittumiselle.

Laskentamallissa siirtymät on nollattu alkuvaiheen lisäksi myös inklinometrien asennusvaiheessa. Alunperin mallissa päivitettiin kolmioverkko jokaisen laskentavaiheen välillä, mutta sen seurauksena siirtymät pienenivät jo liikaa. Laskentamallissa rantapengertä ei voitu rakentaa normaaliin korkoonsa liian suurten muodonmuutosten takia, sillä silloin olisi tapahtunut paikallinen sortuma. Kolmioverkon päivitystä ei käytetty myöhemmissä malleissa, sillä parhaimmaksi osoittautunut malli oletti, että pengermateriaali oli jo uponnut 1 m paksuudelta liejusaveen. Pengermateriaalin uppoamisen tai paikallisen sortuman jälkeen muodonmuutokset eivät enää olleet niin suuria, että malli olisi vaatinut kolmioverkon päivittämistä.

Identification	Phase no.	Calculation	Time
✓ Initial situation in 1986	0	K0 procedure	0,00 day
✓ Construction of shore-line embankment, first part	1	Consolidation	30,00 day
✓ Consolidation of shore-line embankment, first part	2	Consolidation	30,00 day
✓ Construction of shore-line embankment, second part	3	Consolidation	30,00 day
✓ Consolidation of shore-line embankment, second part	4	Consolidation	30,00 day
✓ Filling the rest of park area	5	Consolidation	60,00 day
✓ Consolidation of park area	6	Consolidation	2190,00 day
✓ Filling in 1992	7	Consolidation	30,00 day
✓ Consolidation until 2004	8	Consolidation	4380,00 day
✓ Filling in 2004	9	Consolidation	30,00 day
✓ Construction of column-wall	10	Consolidation	120,00 day
✓ Installation of inclinometers	11	Consolidation	1,00 day
✓ Piling works	12	Consolidation	90,00 day
✓ Slab	13	Consolidation	30,00 day
✓ Filling	14	Consolidation	30,00 day
✓ Consolidation and displacements in 2014	15	Consolidation	3650,00 day
✓ Consolidation and displacements in 2064	16	Consolidation	18250,00 day

Kuva 7.4. Arabianranta. PLAXIS-mallissa käytetyt laskentavaiheiden oleelliset tiedot (Construction Phases).

7.3 Laskentatulokset

7.3.1 Mitatut ja mallinnetut painumat ja vaakasiirtymät

Painumamittaustulokset ovat FEM-mallin kanssa yhteneväisiä: Rantapenkereen kohdalla oli 2000-luvun vaihteeseen mennessä tapahtunut 810...1380 mm suuruinen painuma rantapenkereen kohdalla, kun mallin mukaan vastaava painuma oli 1140 mm. Vuonna 2014 kokonaispainumat rantapenkereen kohdalla ovat arviolta jo yli 2 m, mutta mallinnetulla alueella ei ole enää toimivia painumalevyjä.

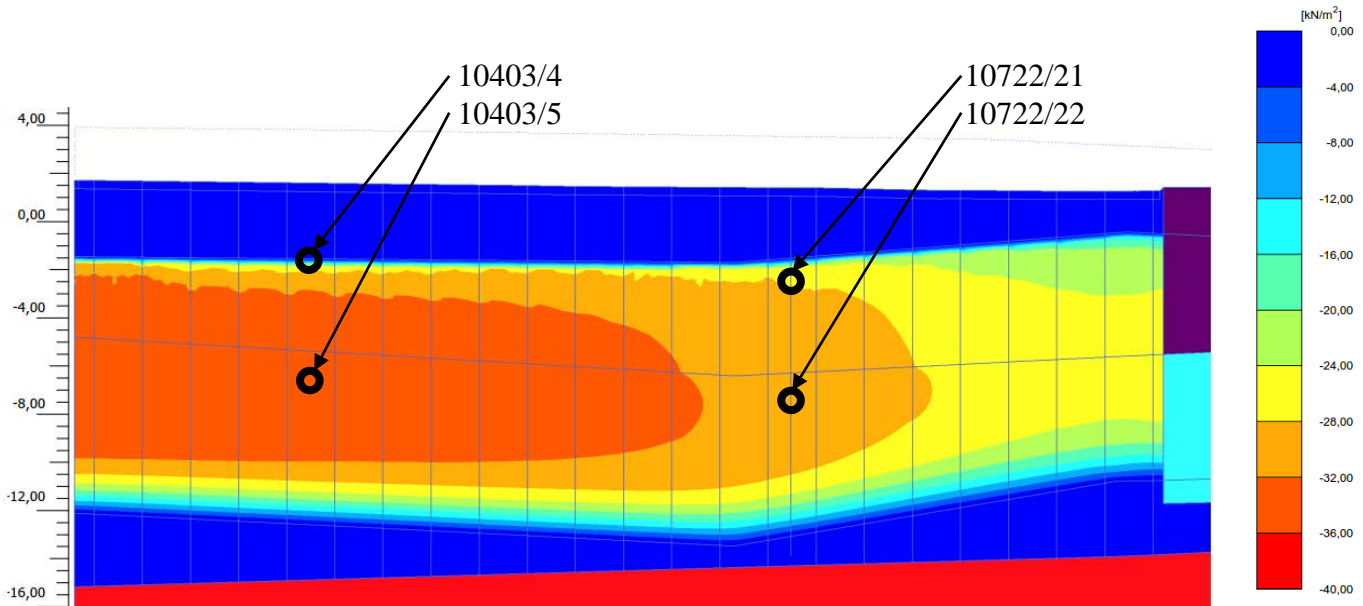
Inklinometriputket mallinnettiin, jotta olisi mahdollista verrata laskentamallin tuottamia arvoja mittauksiin. Salpaseinän kohdalla ollut inklinometri oli liikkunut sivusuunnassa yläpäästään mantereeseen päin 8 mm. Vastaavasti FEM-mallin mukaan liikkeen suuruus oli 5 mm. Rantapuiston kohdalla inklinometriputkesta mitattu vaakasiirtymä oli 80 mm, kun vastaava FEM-mallista saatu arvo oli 122 mm tasolla $z=-4$. Salpaseinän mantereiden puolella inklinometri oli liikkunut sivusuunnassa 10...50 mm, mutta vastaava FEM-malli antoi siirtymän suuruudeksi vain 8 mm. Pääpiirteissään laskentamallin tuottama tieto oli linjassa mitatun tiedon kanssa.

7.3.2 Huokosvedenpaine

PLAXIS-mallin maakerroksille määriteltiin vedenjohtavuusarvot sekä vedenjohtavuuden muuttumiskertoimet. Kallio sekä salpaseinärakenne määriteltiin vettä johtamattomiksi (Non-porous), vaikka todellisuudessa kallion paikalliset halkeamat sekä salpaseinänkin johtavat vettä ainakin jossain määrin. FEM-mallissa pohjavedenpinnan yleiseksi tasoksi (Phreatic level) annettiin merenpinnantas ± 0 . Mallin ulkolaidoilla, savi- ja liejusavikerroksien kohdalla huokosveden virtaus sivusuunnassa estettiin, jotta huokosvedenpaine pääsee savikerroksista purkautumaan vain ylä- ja alakautta paremmin vettä johtaviin kerroksiin. Näillä olettamilla ”pakotettiin” veden johtuminen esim. kallion

päällä olevaan moreeni-hiekka-siltti –kerrokseen. Kuvasta 7.5. näkyvät salpaseinän mantereen puolella olevaan maahan asennetut huokosvedenpaineen anturit. Huokosveden ylipainetta on verrattu mitattujen ja laskettujen arvojen välillä Taulukossa 7.3. Mitatut ja lasketut huokosveden ylipaineen arvot ovat lähellä toisiaan. Suurin huokosveden ylipaine ei kuitenkaan vallitse salpaseinän mantereen puolella, vaan rannan puolella. Rantapenkereen alapuolella savi- ja liejusavikerroksissa huokosveden ylipaine on ollut suurimmillaan jopa 64 kPa.

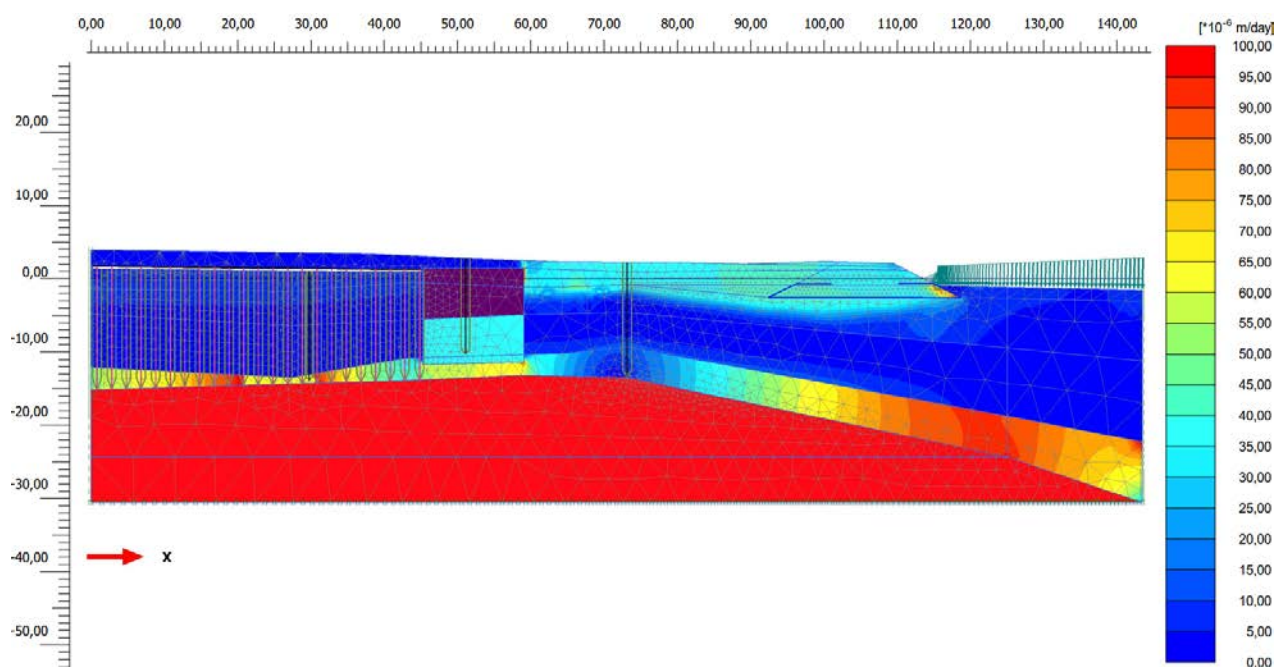
Kuvassa 7.6. nähdään huokosveden virtausnopeuksia eri maakerroksissa (v. 2014). Huokosveden virtaus on hitainta savi- ja liejusavikerroksissa (5×10^{-6} m/päivä), mutta esim. savikerroksen alapuolisessa kitkamaakerroksessa vesi virtaa peräti 20 kertaa nopeammin (100×10^{-6} m/päivä). Malli toimii kuten pitääkin.



Kuva 7.5. Arabianranta. Huokosveden ylipaine (kuvan asteikko negatiivista) kesäkuussa 2004. Huokosvedenpaineen mitta-anturien sijainnit.

Taulukko 7.3. Huokosveden ylipaineen vertailua laskettujen ja mitattujen arvojen kesken.

Huokosvedenpaineen mitta-piste	Huokosveden ylipaineen arvoja [kPa]	
	mitattu arvo 6/2004	PLAXIS-mallin tuottama arvo n. 6/2004
10403/4	34,8	27,4
10403/5	32,6	34,1
10722/21	22,9	27,0
10722/22	32,8	30,8



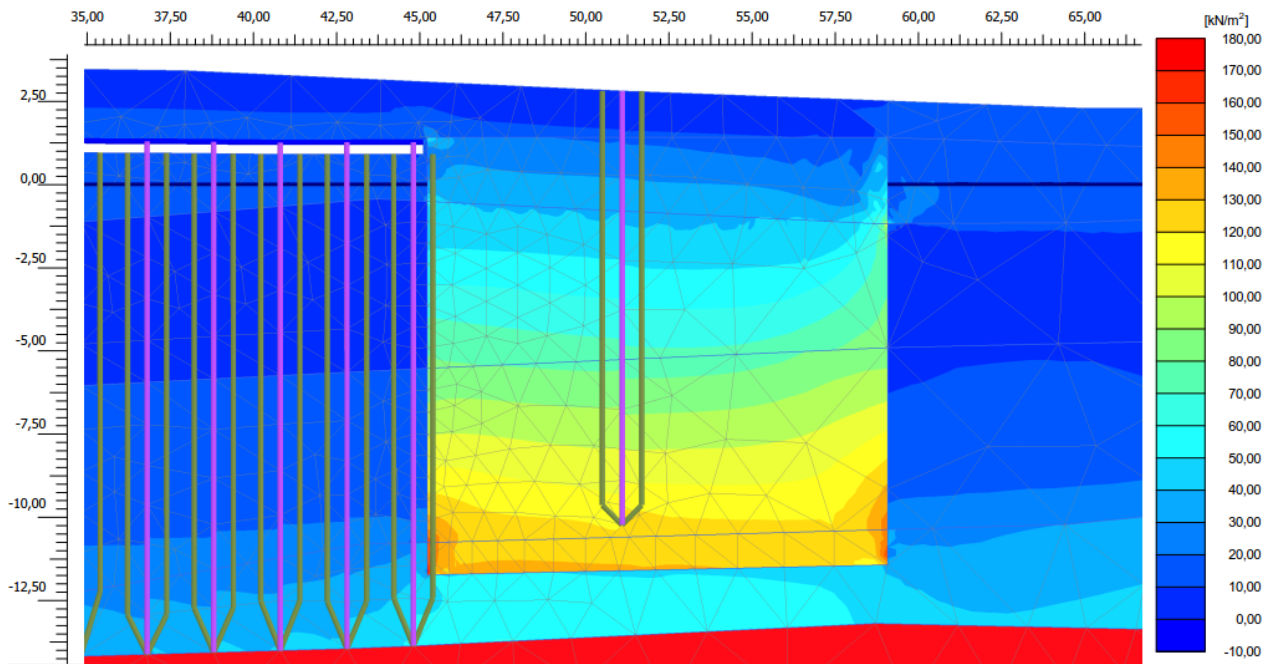
Kuva 7.6. Arabianranta. Veden virtausnopeus maakerroksissa vuonna 2014. Huokosvettä poistuu savesta ja liejusavesta hitaasti ylä- ja alakautta paremmin vettä johtaviin maakerroksiin.

7.3.3 Salpaseinään kohdistuva leikkausvoima

FEM-mallinnuksen mukaan suurin leikkausjännitys (177 kN/m^2) kohdistuu salpaseinän alaosaan, savi- ja kitkamaakerroksen rajapinnan kohtaan. Maakerrosten rajat näkyvät salpaseinässä ohuina poikkiviivoina (Kuva 7.7.).

Salpaseinän pilareilla lujuustavoite oli $\tau_{\text{ylä}} = 400 \text{ kPa}$ salpaseinän yläosalla sekä $\tau_{\text{ala}} = 750 \text{ kPa}$ salpaseinän pilareiden alaosalla. Keskimääräistämällä pilarien ja maamassan leikkauslujuus pinta-alojen suhteessa saatiin salpaseinän yläosan leikkauslujuudeksi $\tau_{\text{ylä.suun}} = 183 \text{ kPa}$ ja alaosan leikkauslujuudeksi $\tau_{\text{ala.suun}} = 338 \text{ kPa}$.

Tämän laskentapoikkileikkauksen mukaan PLAXIS-mallinnuksella saatiin salpaseinän alaosaan kohdistuvaksi maksimileikkausjännitykseksi 177 kPa , joten salpaseinän alaosan kokonaisvarmuus leikkautumista vasten oli $\text{FOS}_{\text{ala}} = 338 \text{ kPa} / 177,2 \text{ kPa} = 1,90$. Vastaavasti salpaseinän yläosalle kokonaisvarmuus leikkautumista vastaan oli $\text{FOS}_{\text{ylä}} = 183 \text{ kPa} / 90 \text{ kPa} = 2,03$.



Kuva 7.7. Arabianranta. Salpaseinärakenteeseen kohdistuva maksimileikkausjännitys, τ_{max} . Salpaseinän vasemmalla puolella näkyy paalulaatta.

7.4 Tulosten analysointi ja siirtymäennuste

7.4.1 Vaakasiirtymät

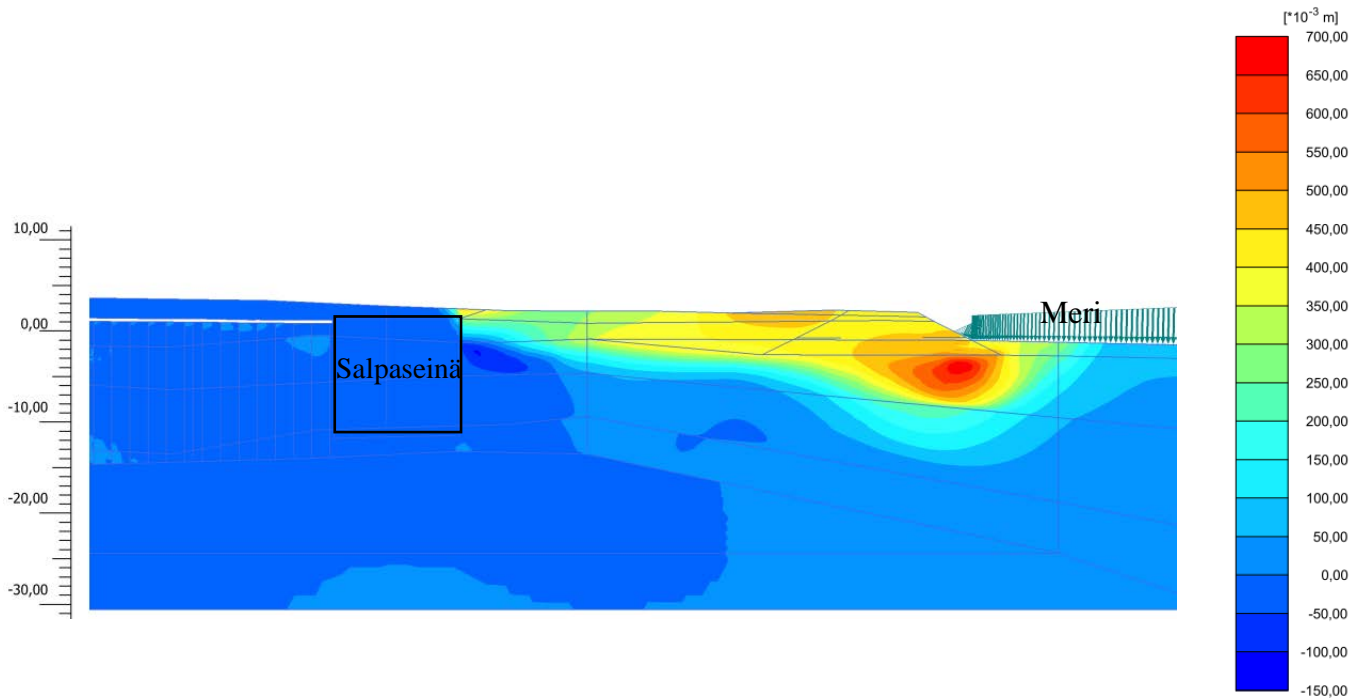
FEM-mallin mukaan ranta-alue painuu ja sivusiirtyy yhä, joskin liike on vähitellen hidastumassa. Salpaseinä pysyy paikoillaan, ja maan vaakaliikkeet salpaseinän mantereen puolella ovat pieniä ja vähenemässä.

PLAXIS-mallilla laskettiin vaakasiirtymäennusteet 50 vuoden päähän nykyhetkestä. Laskentamallin mukaan vuosina 2014–2064 tapahtuva vaakasiirtymä tulee olemaan noin 330 mm. Suurimman vaakasiirtymän sijainti on rantapenkereen alla. Kaikkiaan rantapenkan alla stabiliteetti on heikko ja vaakasiirtymää tapahtuu mallin mukaan vuosina 2004–2064 n. 720 mm (Kuva 7.8.). Salpaseinän kohta sekä salpaseinän mantereen puoli pysyvät laskentamallin ennusteen mukaan lähes paikallaan.

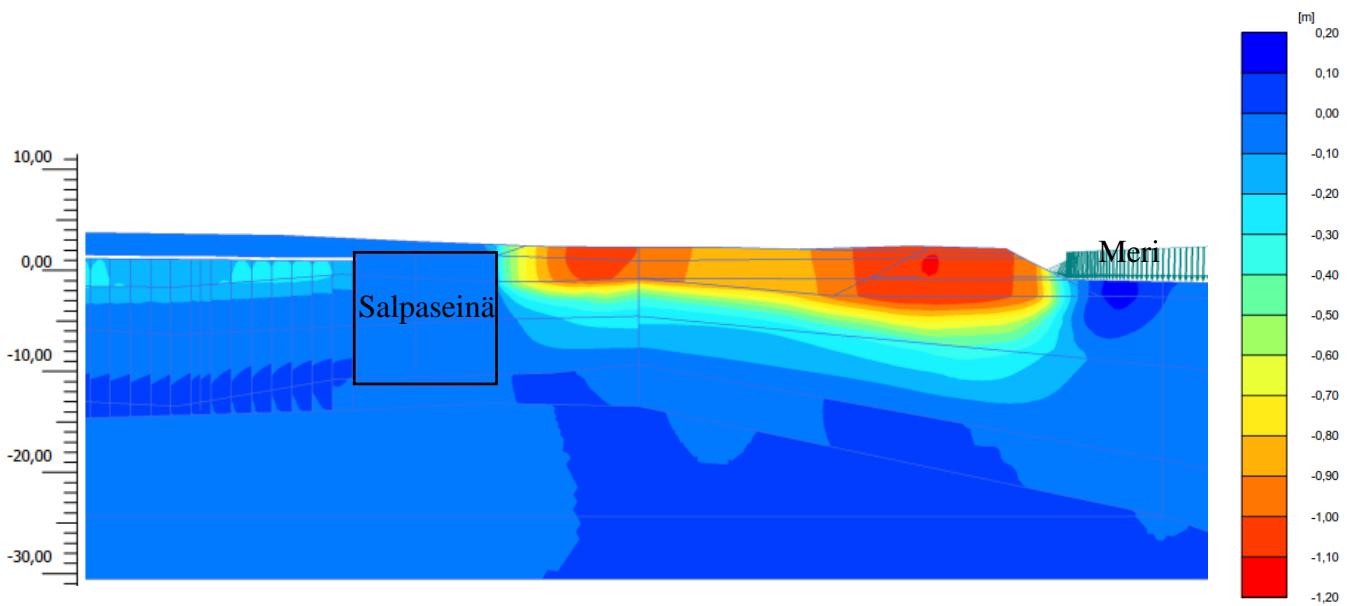
7.4.2 Pystysiirtymät

Pystysiirtymät laskettiin siten, että FEM-malli huomioi vain konsolidaatiopainuman sekä huonosta stabiliteetista aiheutuvan siirtymien pystykomponentin. Näissä laskelmissa ei ole otettu huomioon virumaa, mikä osaltaan lisäisi painumien suuruutta.

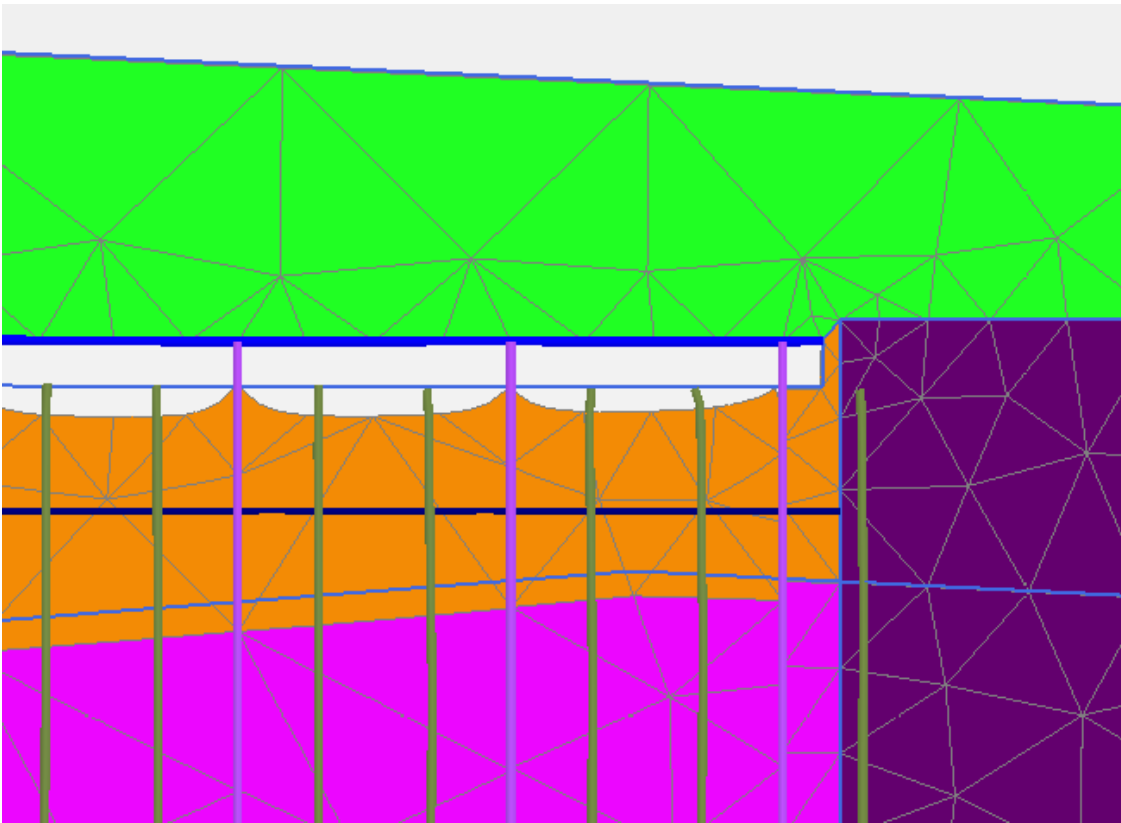
PLAXIS-mallilla laskettiin pystysiirtymäennusteet 50 vuoden päähän nykyhetkestä. Laskentamallin perusteella vuosina 2014–2064 tapahtuva pystysiirtymä tulee olemaan noin 650 mm. Koko rantapuiston alue jatkaa painumistaan, mallin mukaan pystysiirtymää tapahtuu v. 2004–2064 välisenä aikana n. 1100 mm (Kuva 7.9.). Laskentamallin mukaan salpaseinä ei painu. Sen sijaan paalulaatan alapuolinen maa painuu 200–300 mm vuosien 2014–2064 välillä (Kuva 7.10.).



Kuva 7.8. Arabianranta. Kokonaisvaakasiirtymät aikavälillä 2004-2064. Punainen väri kuvastaa siirtymää 600–700 mm.



Kuva 7.9. Arabianranta. Kokonaispainumat aikavälillä 2004-2064. Punainen väri kuvastaa painumaa 1100–1200 mm.

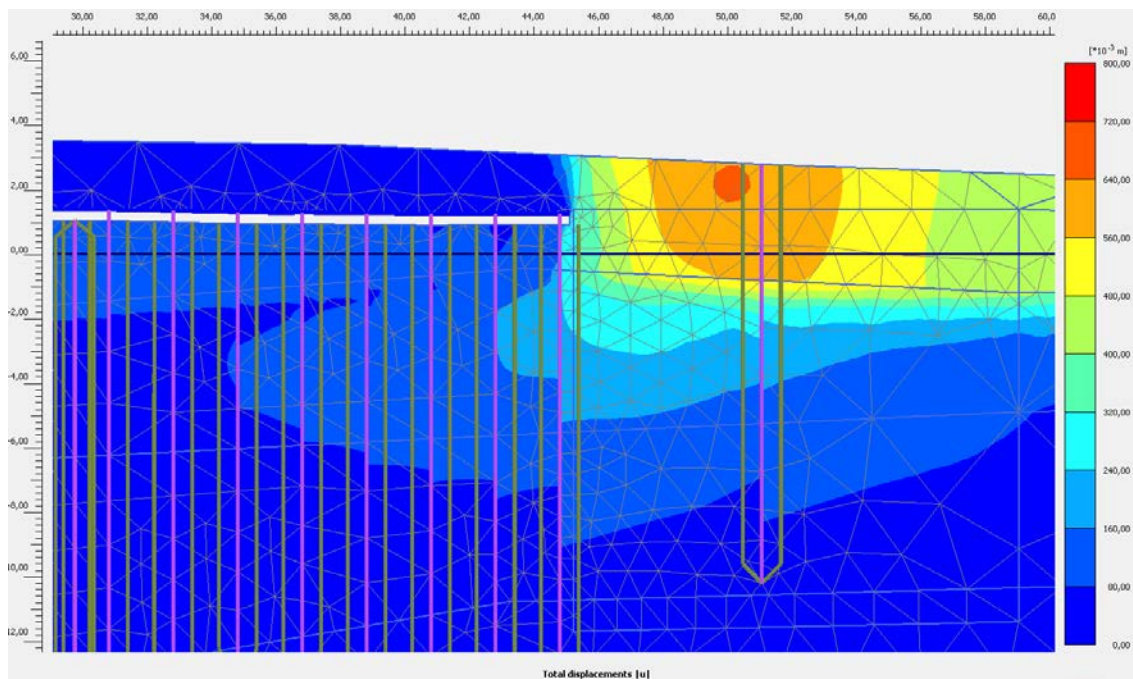


Kuva 7.10. Arabianranta. Paalulaatan alapuolinen maa painuu. Kuvassa muotoaan muuttanut kolmioverkko (vuosi 2064). Paalujen (magenta-väri) keskinäinen etäisyys on 2 m. Tumman violetti väri edustaa salpaseinää.

8 Laskentamallin herkkyystarkastelu

8.1 Salpaseinän yhteistoiminta paalutuksen kanssa

FEM-mallilla kokeiltiin rakennetta, jossa on paalut, mutta ei salpaseinää. Mallinnuksen mukaan salpaseinän puuttumisella ei ole merkitystä ranta-alueen kokonaisstabiileetille, mutta ylikorkea täyttö lujuudeltaan heikon maapohjan varassa aiheuttaa stabiliteettiongelman paalulaatan alle (Kuva 8.1.). Salpaseinä toimii siis paalujen suojaseinämänä.



Kuva 8.1. Arabianranta. Maan kokonaissiirtymät v. 2004-2014 lähellä paalulaatan reunaa ilman salpaseinää. Kuvassa punainen väri edustaa siirtymää 720–800 mm.

Herkkyystarkastelussa tutkittiin myös, mikä vaikutus paalutuksella oli maan vaakasiirtymien pysäyttämässä. Kuvassa 8.2. on vertailtu kokonaisvaakasiirtymiä vuonna 2014 siten, että kohdassa b) on toteutettu rakenne (salpaseinä + paalut) ja kohdassa a) on pelkkä salpaseinä. Kun alueelle on rakennettu pelkkä salpaseinä, vaakasiirtymän suuruus liejusavikerroksen yläosassa on n. 35 mm 10 vuoden ajalta (3,5 mm/vuosi). Kun mallissa on sekä paalut että salpaseinä, kokonaisliike viimeisen 10 vuoden ajalta on vain n. 5 mm (kokonaisvaakasiirtymänopeus 0,5 mm/vuosi). Inklinometrimittauksen perusteella rakennustöiden jälkeinen keskimääräinen sivusiirtymänopeus tuolla korkeustasolla ($z = n. -1,0$) on ollut n. 1,0 mm/vuosi.

FEM-mallilla tehdystä herkkyystarkastelusta voidaan päätellä, että paalutus on vähentänyt maan sivusiirtymäliikettä jopa 3 mm/vuosi. Tässä laskentamallissa ei huomioitu paalujen vinouden vaikutusta, vaan kaikki paalut on mallinnettu pystysuorina. Lievästi vinosti asennettujen paalujen (”paalupukkirakenteen”) tulisi hidastaa maan vaakasiirtymiä suoria paaluja enemmän.

Maan vaakasiirtymänopeuskartan (Kuva 6.2.) perusteella FEM-mallinnetun poikkileikkauksen kohdalla maa on ennen rakennustoimenpiteitä liikkunut itään päin n. 15 mm/vuosi. Tämän perusteella pelkkä salpaseinä on pienentänyt liikkeen 3,5 mm:iin/vuosi ja yhdessä paalutuksen kanssa liikkeet ovat pienentyneet nopeuteen 0,5

mm/vuosi. Tämän tarkastelun perusteella salpaseinä siis otti vastaan liikettä Yhtälön 8.1 mukaisesti.

$$\frac{\text{Salpaseinän aikaansaama vaakasiirtymänopeuden vähenemä}}{\text{Salpaseinän ja paalutuksen yhdessä aikaansaama vaakasiirtymänopeuden vähenemä}} =$$

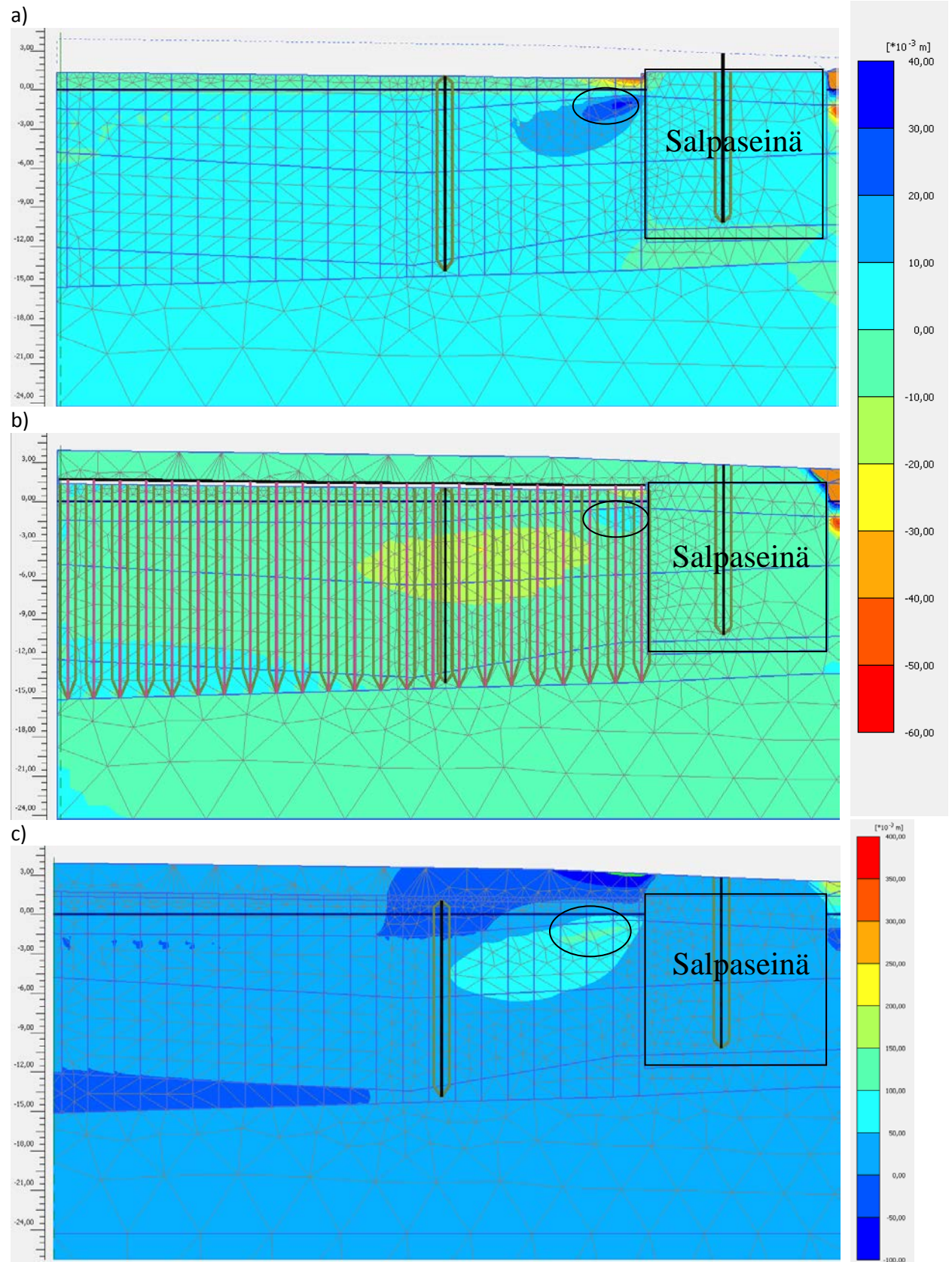
$$= \frac{15^{mm/v} - 3,5^{mm/v}}{15^{mm/v} - 0,5^{mm/v}} = n. 80 \% (\text{Salpaseinän osuus}) \quad (8.1.)$$

Paalutus otti vastaan loput n. 20 % siirtymistä saman karkean laskukaavan perusteella. Yhdessä salpaseinä ja paalutus hidastivat maan vaakasiirtymiä 95 % Yhtälön 8.2 mukaisesti.

$$\frac{\text{Salpaseinän ja paalutukseen yhdessä aikaansaama vaakasiirtymänopeuden vähenemä}}{\text{Maan sivusiirtymänopeus ennen rakennustöitä}} = \frac{14,5^{mm/v}}{15^{mm/v}} = n. 95 \% \quad (8.2.)$$

Yhdessä paalulaatta sekä salpaseinä ottivat vastaan n. 95 % kokonaissiirtymistä (Yhtälö 8.2.). Jäykästi laatassa kiinni olevat paalut hidastaisivat maan sivusiirtymää enemmän kuin toteutettu rakenne, jossa paalujen ja paalulaatan yläpää voidaan tulkita nivelellisenä liitoksena (paalujen raudoituksia ei ole otettu esille ennen laatan valua). Salpaseinä on pienentänyt maan vaakasuuntaisen liikkeen suuruutta ja siten paaluille kohdistuva vaakaliike on pienentynyt.

Kuvan 8.2. c-kohdasta huomataan, että jos salpaseinän mantereen puolta (itäpuoli) täyttää, ei salpaseinä välttämättä pysty pysäyttämään maan vaakasuuntaisia liikkeitä, sillä maa on liikkunut salpaseinän mantereen puolella rantaa kohti jopa 100 mm 10 vuoden aikana (Kuvassa 8.2.c osoitettu soikiolla). Jos katsoo saman laskelman ennustetta vuodelle 2064, vastaavat (vihreän turkoosit) kohdat olisivat liikkuneet lisää jopa 100...200 mm 50 vuoden aikana. Vaikuttaa siis siltä, että salpaseinästä huolimatta suuri toispuoleinen pengerkuorma aiheuttaa melko suuria maan vaakasiirtymiä.



Kuva 8.2. Arabianranta. Kokonaisvaakasiirtymät (v. 2004) paalulaatan ja salpaseinän kohdalla eri tilanteissa. a) Pelkkä salpaseinä (ei paalutusta) ja täyttö kuten paalulaatal-la. b) Paalutus sekä salpaseinä (toteutettu rakenne). c) Pelkkä salpaseinä ja täyttö toteutetun tasauksen mukaisesti.

8.2 Salpaseinän pilarikaavio

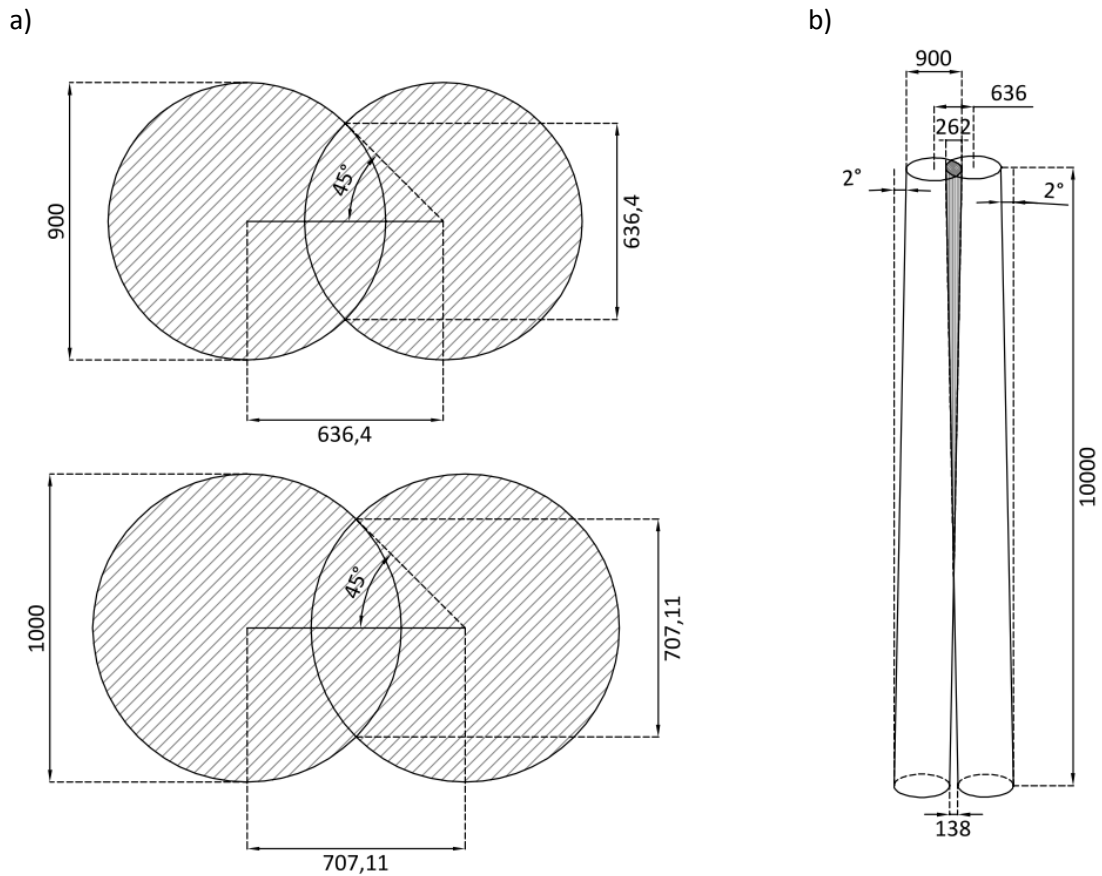
Pilarikaaviossa pilareiden ja jäljelle jääneen maamassan tulisi muodostaa mahdollisimman hyvin yhdessä toimiva rakenne. Näin ollen olisi parempi tehdä useampia pienemmän lujuuden pilareita verrattuna harvakseltaan sijoitettuihin suurilujuuksisiin pilareihin. Jos lamellien poikittaisväli on pitkä, poikittaissuuntaisille pilaririveille kohdistuu paikoittain suuria kuormakeskittymiä, sillä harvemmat pilaririvit joutuvat ottamaan vastaan kuormat suuremmalta pinta-alalta.

Kuvasta 8.3. a-kohdasta voidaan geometrisesti päätellä, että pilarilamelleja suunniteltaessa ideaali keskeltä–keskelle -väli on 70,7 % pilarin halkaisijasta riippumatta. Arabianrannan 900 mm pilareille optimi k/k-väli olisi siten ollut 636 mm ja toteutunut 630 mm on jo hyvin lähellä tätä. Tämä prosentuaalinen k/k-väli on optimaalinen, koska siinä lamellin yhtenäisestä seinämäpaksuudesta tulee mahdollisimman suuri ilman, että pilarit osuvat tarpeettomasti päällekkäin. Kuvan 8.3. a-kohdassa on esitetty optimoitu pilariväli. Pilareiden pitää osua päällekkäin, jotta lamellirakenteesta tulee yhtenäinen ja kestävä, mutta toisaalta turhaa päällekkäisyyttä on syytä välttää. Limittämällä pilarit edellä esitellyllä tavalla, ne osuvat päällekkäin n. 18 % pinta-alalta. Norjalaisen stabilointiohjeen mukaan (NGI 2012) suositeltu päällekkäisyys pilareille on 20 %.

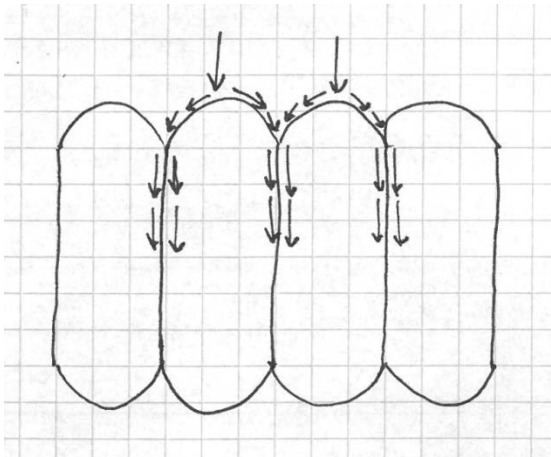
Eräs tapa tarkastella pilareiden limitysvälejä on se, kuinka suoraan pilarit saadaan tehtyä ja kuinka pitkiä ne ovat. Esim. kun kahden toisiaan leikkaavaan pilarin kaltevuus eri suuntiin on 2 %, erkanevat ne toisistaan 10 m matkalla 0,4 m (Kuva 8.3.b). Voidaan olettaa, että lamellistabiloinnin rakenne ei ole syvemmällä samanlainen kuin pinnalla. Lisäksi voidaan olettaa, että pohjoismaisella konekalustolla tehdyllä salpaseinällä, joka ulottuu hyvin syvälle, salpaseinän alapää saattaa koostua lähinnä yksittäisistä pilareista, jotka eivät välttämättä muodosta yhtenäistä lamellirakennetta. Tässä työssä on kuitenkin käytetty salpaseinän alapäälle samoja maamassojen keskimääräistyksiä kuin seinän yläosille.

Arabianrannassa käytetty salpaseinän pilarikaavio on lähellä optimia. Kuvassa 8.4. on esitetty, miten salpaseinän sivusuunnasta tulevat voimat (kuvassa kaksi ylintä nuolta) jakautuvat pilariseinämää pitkin. Koska ”hunajakennon” päädyt ovat kaarevia, sivusuunnan voimat välittyvät puristusvoimina lamellien poikittaisseinämille. Muodossa on tavoiteltu vaakasuuntaista holvaantumista. Paras muoto näille lamellien päädyille on ketjukäyrän muoto, mutta ympyräkaaren muotokin on toimiva. Kuvan 8.5. pilarikaavio on Kuvan 8.4. kaaviota yksinkertaisempi, sillä lamellit on sijoitettu suorakaiteen mallisesti. Tässä tapauksessa lamellin päädyn sisäpintaan syntyy vetorasitusta, mikä ei ole välttämättä pilariseinämälle hyväksi, vaikka suorakaidetyyppinen pilarikaavio on suunnittelun ja työnsuorituksen kannalta helpompi.

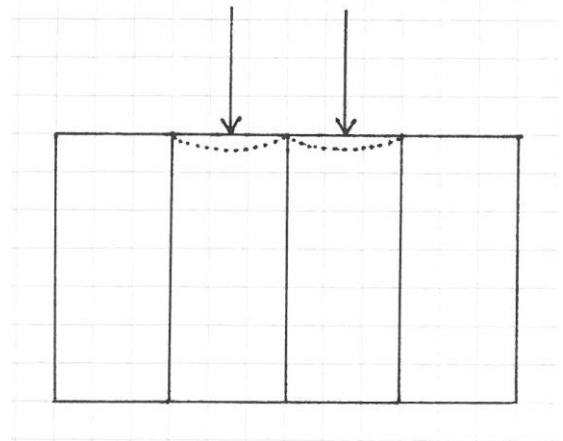
Arabianrannan salpaseinärakenteessa lamelliseinien keskinäinen väli on n. 15...20 % salpaseinän leveydestä (lamellien välinen etäisyys toisistaan on silloin 2...3 m). Kun lamellit ovat tällä etäisyydellä toisistaan, stabiloidun saven ja savimaan tilavuuksien suhteellinen osuus on n. 1:1. Toisin sanoen stabiloinnin tilavuus ja saven tilavuus ovat yhtä suuria. Havaintojen mukaan Arabianrannan salpaseinässä käytetty lamellien välinen etäisyys toimii hyvin. Mikäli salpaseinä on leveä, suunnitellaan lisävarmistukseksi myös hunajakennon keskilinjaa pitkin kulkeva ylimääräinen pilaririvi kuten Arabianrannan rakennusalueilla 2–5 on tehty.



Kuva 8.3. Pilariväli. a) Pilarien optimoitu k/k-väli. b) Vierekkäisten 2° vinojen pilarien limityksen muuttuminen syvyyden suhteen.



Kuva 8.4. Asemapiirros. Voimien jakautuminen ”hunajakennomaisessa” lamellirakenteessa. Puristusvoimat hallitsevat rakennetta.



Kuva 8.5. Asemapiirros. Suorakaidetyyppinen lamellirakenne. Katkopisteiviiva kuvaa lamellin sisäpintaan syntyvää vetorasitusta.

8.3 Pilarien tavoitelujuus

FEM-mallilla kokeiltiin erilaisia lujuuksia salpaseinän pilareille. Koska lähtötilanteessa salpaseinäblokki pysyi hyvin koossa, yritettiin blokin lujuutta muuttamalla arvioida, minkä lujuuksisilla pilareilla salpaseinäblokki olisi edelleen ollut toimiva.

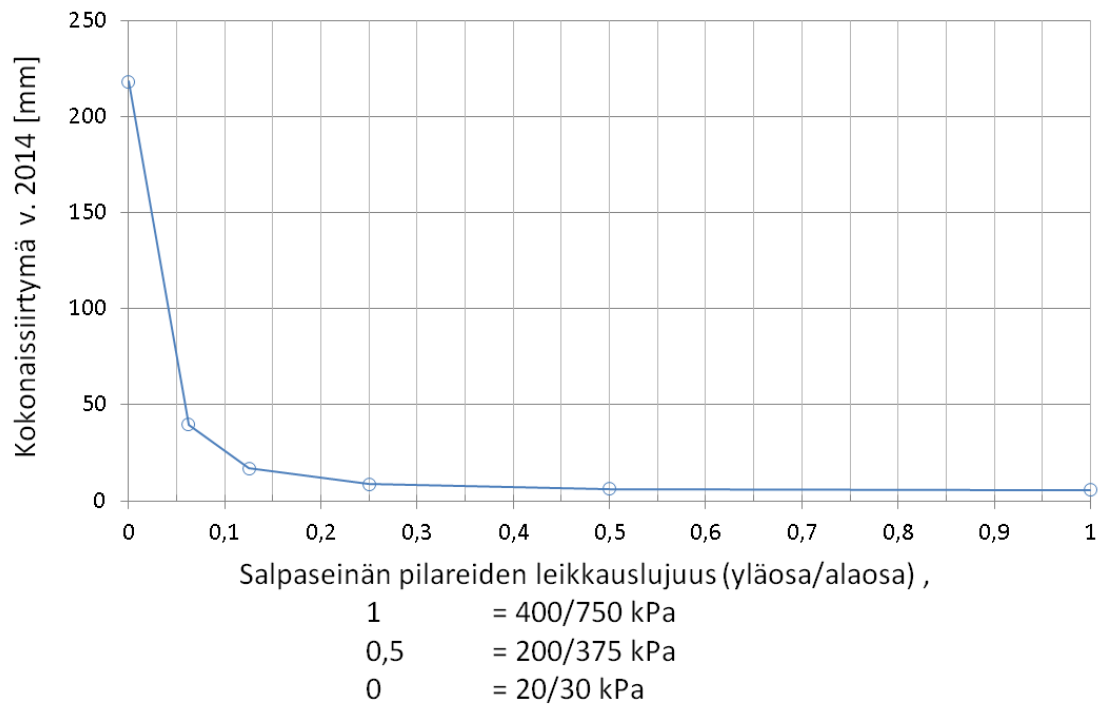
Salpaseinän leikkauslujuus verrattuna salpaseinään kohdistuviin leikkausvoimiin antoi varmuuden 1,9...2,0 toteutuneessa tilanteessa. Kun FEM-mallinnuksessa tavoiteleikkauslujuus pienennettiin puoleen, oli salpaseinäblokki mallin mukaan edelleen toimiva eikä se muuttanut liiemmin muotoaan. FEM-mallissa alennettiin salpaseinän lujuusparametreja tavoitelujuudesta 400/750 kPa ja tutkittiin leikkauslujuuden vaikutusta salpaseinän keskikohdan muodonmuutokseen. Muodonmuutos/kokonaissiirtymä mitattiin salpaseinän keskeltä savi- ja liejusavikerroksen rajapinnan korkeudelta.

Taulukon 8.1. ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty, kuinka paljon lamellien keskimääräistetyksi kimmomoduuliksi on asetettu. Arvo 1 tarkoittaa sitä, että lujuutena on käytetty toteutuneen rakenteen arvioitua kimmomoduulia ja vastaavasti 0,5 vastaa puolta toteutuneesta lujuudesta. Taulukon toisesta ja kolmannelta sarakkeesta käyvät ilmi pilareiden ylä- ja alaosien leikkauslujuustavoitteet. Taulukon neljännessä ja viidennessä sarakkeesta käyvät ilmi laskennoissa käytetyt keskimääräistetyt kimmomoduulit salpaseinän ylä- ja alaosille. Kahdesta viimeisestä sarakkeesta käyvät ilmi FEM-mallista saadut muodonmuutokset käytettäessä erisuuruisia keskimääräistettyjä kimmomoduulien arvoja. Muodonmuutokset mitattiin salpaseinän keskikohdasta savi- ja liejusavikerrosten rajapinnan kohdalta.

Kuvan 8.6. perusteella voidaan päätellä, että pilarien suurella tavoitelujuudella ei näin ollen ollut merkitystä siirtymän suuruuteen, sillä muodonmuutos alkoi kasvaa merkittävästi vasta pilareille malliin asetetun leikkauslujuuden ollessa alle kymmenesosa tavoiteleikkauslujuudesta. Toisaalta PLAXIS-malli ei salli maablokkien (tässä tapauksessa pilareiden) leikkaantumista ja luvun 7.4.3 (Salpaseinään kohdistuva leikkausvoima) mukaan salpaseinään kohdistui 177 kN/m^2 suuruinen leikkausvoima. Tämän verran salpaseinän tulisi kestää leikkauslujuutta alaosaan. Jos salpaseinän alaosan leikkauskestävyys olisi alle 177 kN/m^2 , on mahdollista, että salpaseinässä tapahtuisi paikallista vaurioitumista, sillä kokonaisvarmuus olisi tuolloin lähellä arvoa 1,0. Salpaseinän leikkauslujuuden pitäisi tulosten perusteella olla vähintään 100 / 200 kPa (yläosa / alaosa).

Taulukko 8.1. Salpaseinän lujuusparametrien variointia sekä PLAXIS-mallista saatuja siirtymätuloksia.

1 = Täysi lujuus, 0 = Ei lujuutta	Salpaseinän pilareiden yläosan leikkauslujuustavoite [kPa]	Salpaseinän pilareiden alaosan leikkauslujuustavoite [kPa]	Salpaseinän yläosan keskimääräistetty kimmomoduuli E [kPa]	Salpaseinän alaosan keskimääräistetty kimmomoduuli E [kPa]	Muodonmuutos v. 2014 salpaseinän keskellä savi- ja liejusavikerroksen rajan kohdalla [mm]	Muodonmuutos v. 2064 salpaseinän keskellä savi- ja liejusavikerroksen rajan kohdalla [mm]
1	400	750	125000	341000	5,7	5,9
0,5	200	375	41400	112700	6,2	6,6
0,25	100	188	13900	37400	8,7	9,1
0,125	50	94	4800	12500	17	18
0,0625	25	47	1800	4300	40	41
0	20	30	500	590	218	238



Kuva 8.6. Arabianranta. Salpaseinän pilareiden leikkauslujuuden suhde kokonaissiirtymään salpaseinän keskellä liejusaven ja saven rajapinnan tasolla (n.-5,0).

8.4 Salpaseinän leveyden ja korkeuden suhde

Herkkyystarkastelulla tutkittiin, mikä vaikutus oli salpaseinän leveyden ja korkeuden suhteella. Laskentamallissa salpaseinä ulottui tasolta -11,7 tasolle +1,4, eli salpaseinän korkeus tällä kohdalla oli 12,8 m. Salpaseinä on tehty kyseiselle paikalle 13,8 m leveänä, joten leveyden suhde korkeuteen on 1,08.

Kuvassa 8.7. salpaseinän leveyttä on kavennettu alkuperäisestä 4,2 m, jolloin leveyden suhde korkeuteen on 0,75. PLAXIS-laskennan mukaan salpaseinärakenne toimi kaventamisen jälkeen yhtä hyvin kuin kaventamaton seinä. Mallin inklinometrin vaakasiirtymän maksimi oli kasvanut vain yhdellä millimetrillä. Painuvan ja sivusiirtyvän rantapuiston alue leveni salpaseinän kaventumisen verran.

Mallinnus tehtiin myös siten, että salpaseinän leveys kavennettiin puoleen (6,4 m) toteutuneesta. Mallin mukaan kyseinen ratkaisu oli toimiva, sillä salpaseinän kohdalla olevassa inklinometriputkessa siirtymät olivat kasvaneet vain 16 mm:iin alkuperäisestä 6 mm:stä. Koska mallissa ei vielä tässäkään vaiheessa tapahtunut mitään odottamatonta, laskettiin tarvittava salpaseinän leveys tälle kohdalle käsin. Tilannetta tarkasteltiin yksinkertaistettuna kokonaisvarmuuksilla kaatumista ja liukumista vastaan.

Mikäli salpaseinän oletetaan toimivan tukimuurin tavoin, tulee sen leveys määritellä kaatumis- ja liukumistarkastelulla. Myös rakenteen sisäinen kestävyys tulee mitoittaa. Koska salpaseinän alaosa oli ulotettu 1,0 m syvyydeltä siltti-hiekka-moreeni – kerrokseen, on epätodennäköistä, että kapea salpaseinä alkaisi liukua alapäästään. Varmuudet kaatumista ja liukumista vastaan tarkasteltiin (Liite 3).

Kuvien 8.8 ja 8.9. mukaisesti maanpaine on suurempi rannan puolella salpaseinää, sillä mantereen puolella paalulaatta kantaa ylimmät täyttökerrokset. Tasapainotilanteessa salpaseinän molemmille puolille kehittyy lepopaine. Salpaseinälle vaadittava leveys laskettiin Kuvan 8.8. mukaisesti.

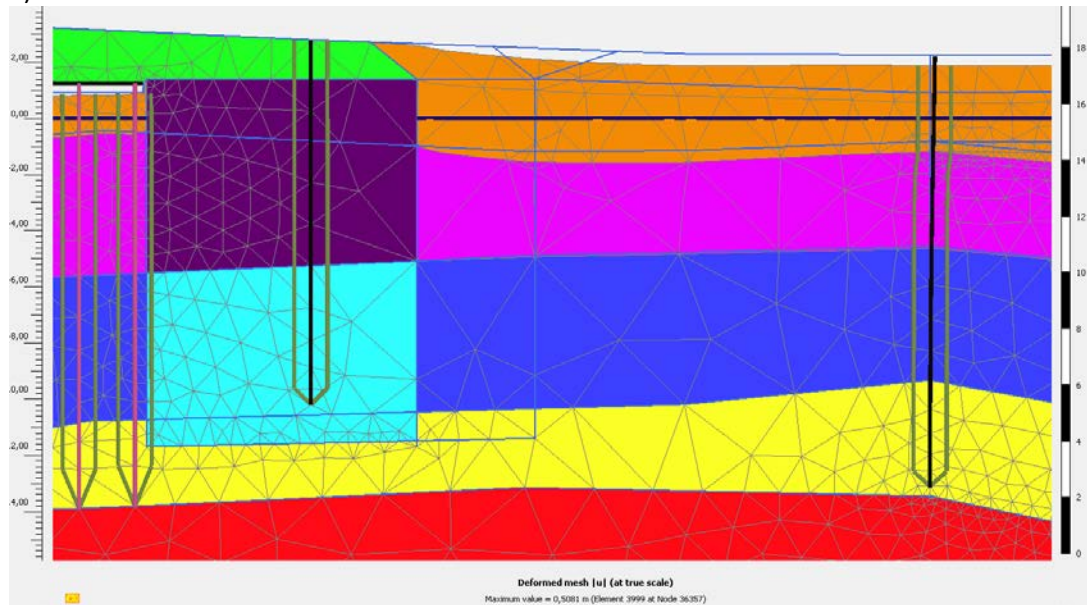
Kuvassa 8.9. on esitetty lepopainekuvaajat eri puolilta salpaseinää ja lisäksi Kuvassa 8.10. on esitetty paine-ero, joka pyrkii voimien epätasapainon takia kaatamaan salpaseinärakennetta paaluihin päin. Lepopaine-eron aiheuttamasta voimasta (Kuva 8.10.) laskettiin kokonaisresultantti, jonka mukaan länteen päin (mantereen suuntaan) työntäväksi vaakavoimaksi saatiin 298 kN/juoksumetri ja vaikutustasoksi $z = -5,13$. Kun huomioidaan salpaseinän omapaino vastustavana voimana, huomataan, että tasapainotilanteessa kaatumista vastaan salpaseinän leveyden B tulisi olla 3,9 m. Jos halutaan kokonaisvarmuustasoksi $FOS = 1,8$, salpaseinän leveyden tulisi olla vähintään 7,0 m. Laskelmat on esitetty Liitteessä 3.

Vastaava tilanne tarkistettiin myös liukuvarmuuden osalta. Liukuvarmuustarkastelun mukaan salpaseinän leveydeksi B olisi riittänyt 4,1 m (kokonaisvarmuus $FOS = 1,8$), joten salpaseinälle mitoittava tekijä tässä tapauksessa on kaatuminen.

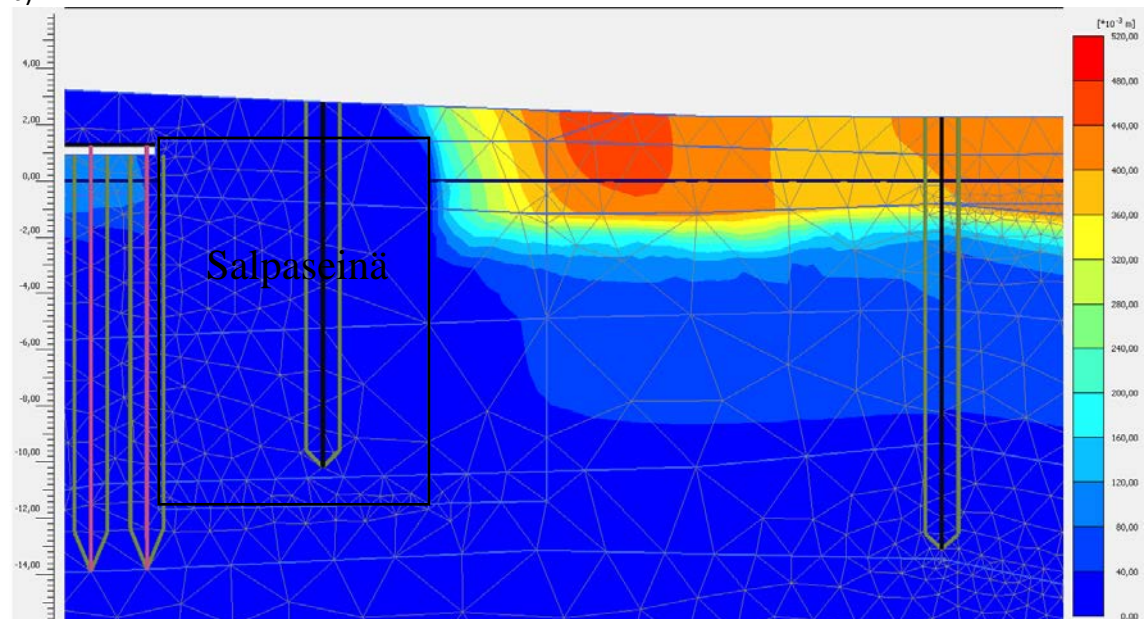
Edellisten tarkastelujen perusteella näyttää siltä, että salpaseinän leveys ainakin kyseisellä 4. rakennusalueella olisi voinut olla kapeampi ja siltti salpaseinärakenne olisi toiminut yhtä hyvin kuin toteutettu ratkaisu. Vaikka tilannetta tarkasteltiin vain yhdeltä kohdalta, olisi salpaseinää voitu todennäköisesti kaventaa muuallakin.

Vastaavanlaisissa tapauksissa lamellistabilointi kannattaisi aina mitoittaa, sillä mitoituksella olisi mahdollista optimoida salpaseinän koko. Tämä vaikuttaa suoraan kokonaiskustannuksiin.

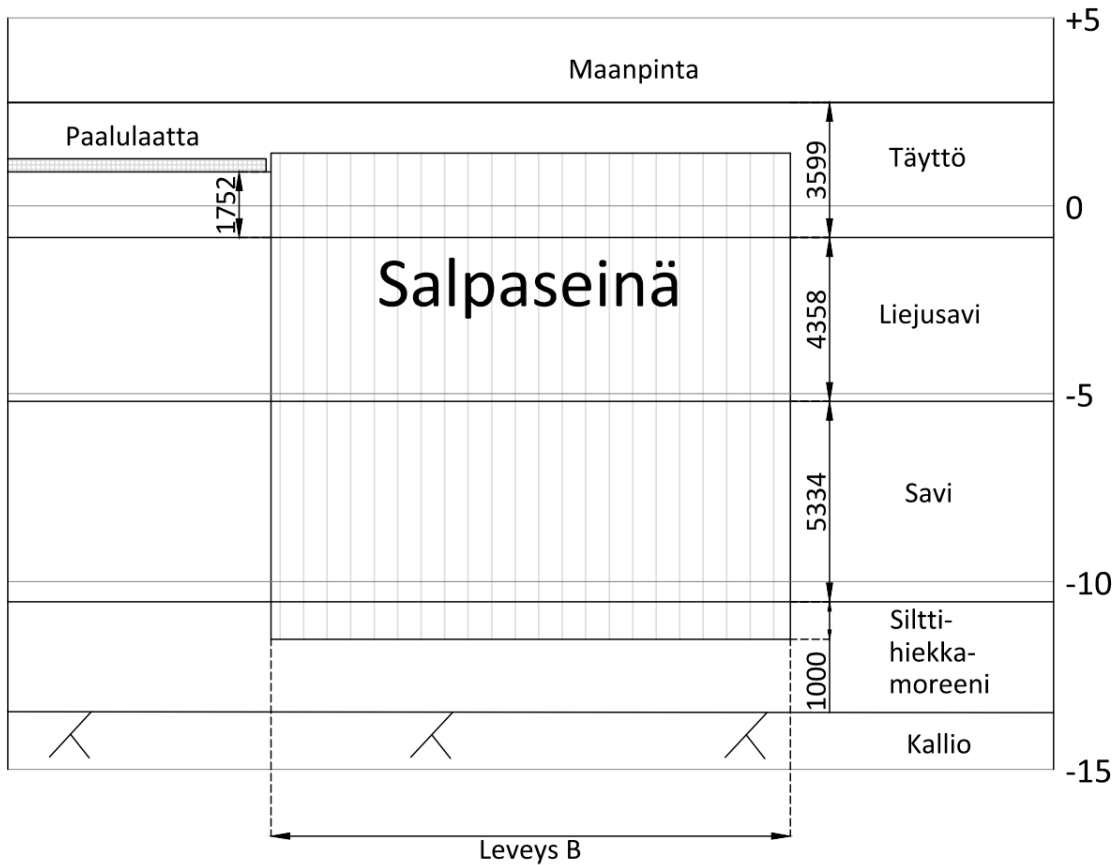
a)



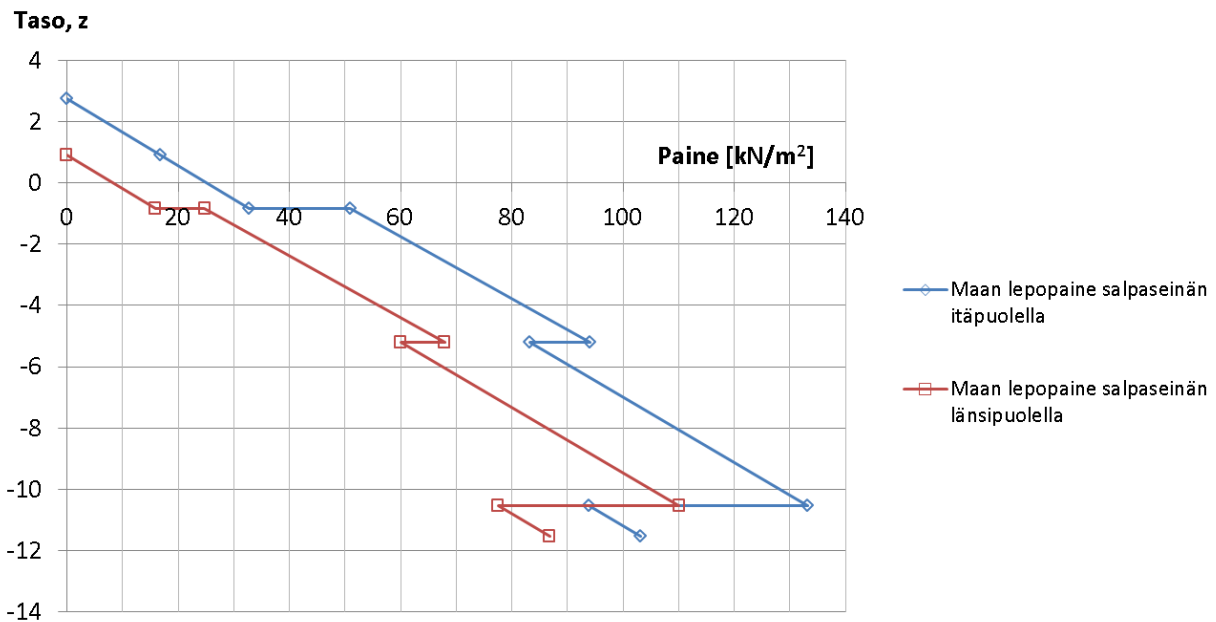
b)



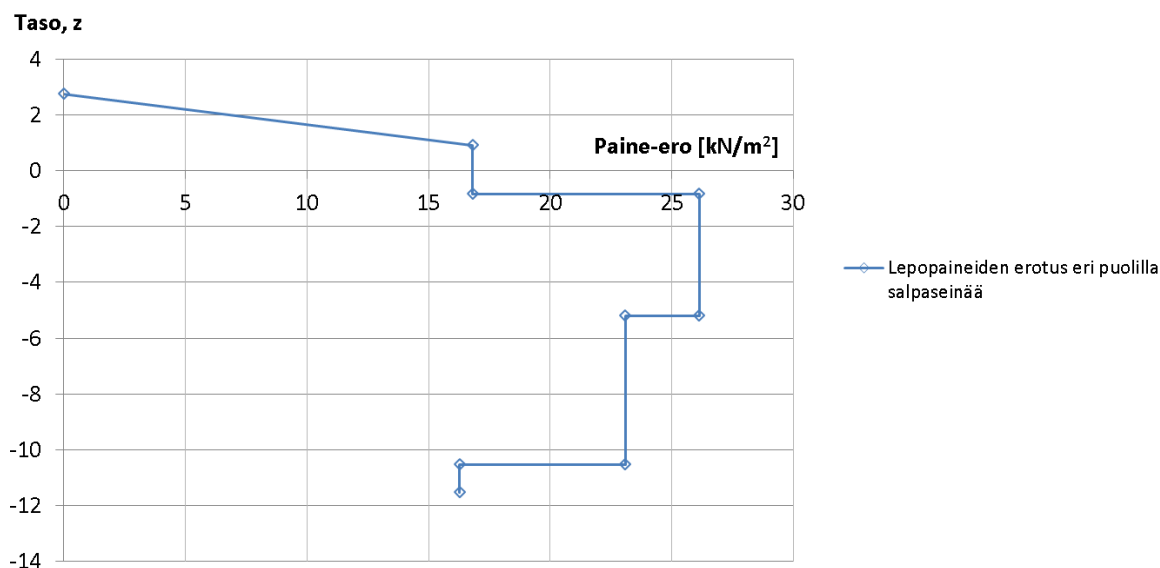
Kuva 8.7. Arabianranta. Salpaseinän leveyttä kavennettu 13,8 metristä 9,6 metriin. Salpaseinän leveyden suhde korkeuteen on 0,75. a) Kolmioverkko. b) Kokonaissiirtymät v. 2014.



Kuva 8.8. Arabianranta. Yksinkertaistettu periaatekuva salpaseinän leveyden B mitoittamiseksi.



Kuva 8.9. Arabianranta. Salpaseinään kohdistuva lepopaine.

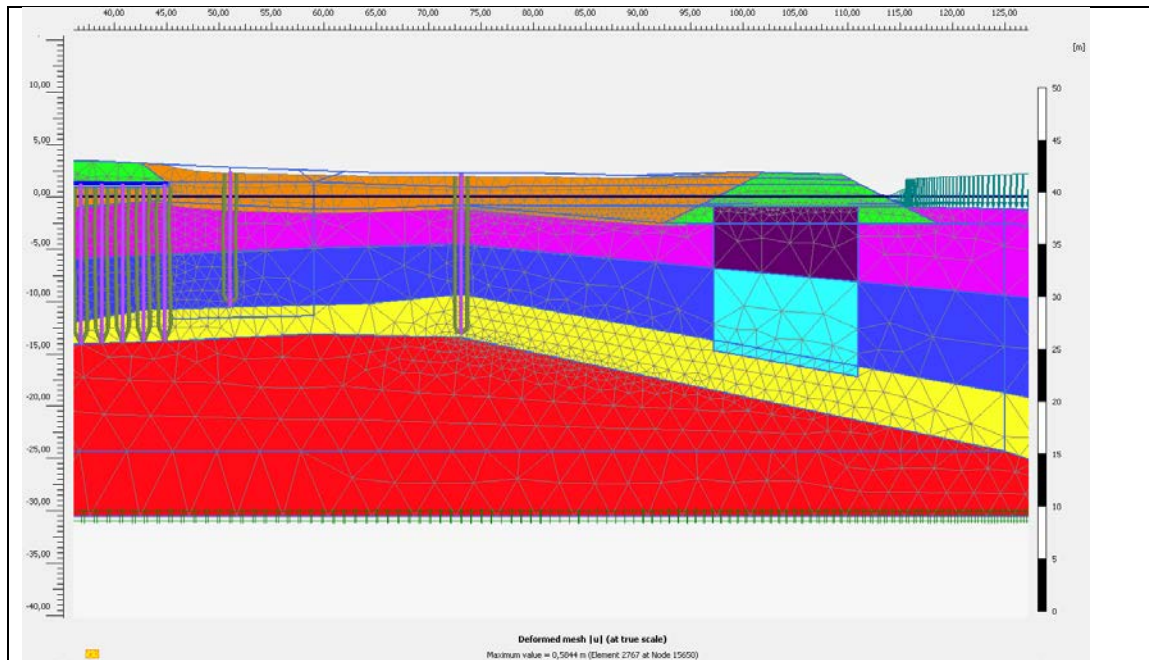


Kuva 8.10. Arabianranta. Salpaseinän eri puolilla vallitseva lepopaine-ero. Paine on suurempi seinän itä-puolella.

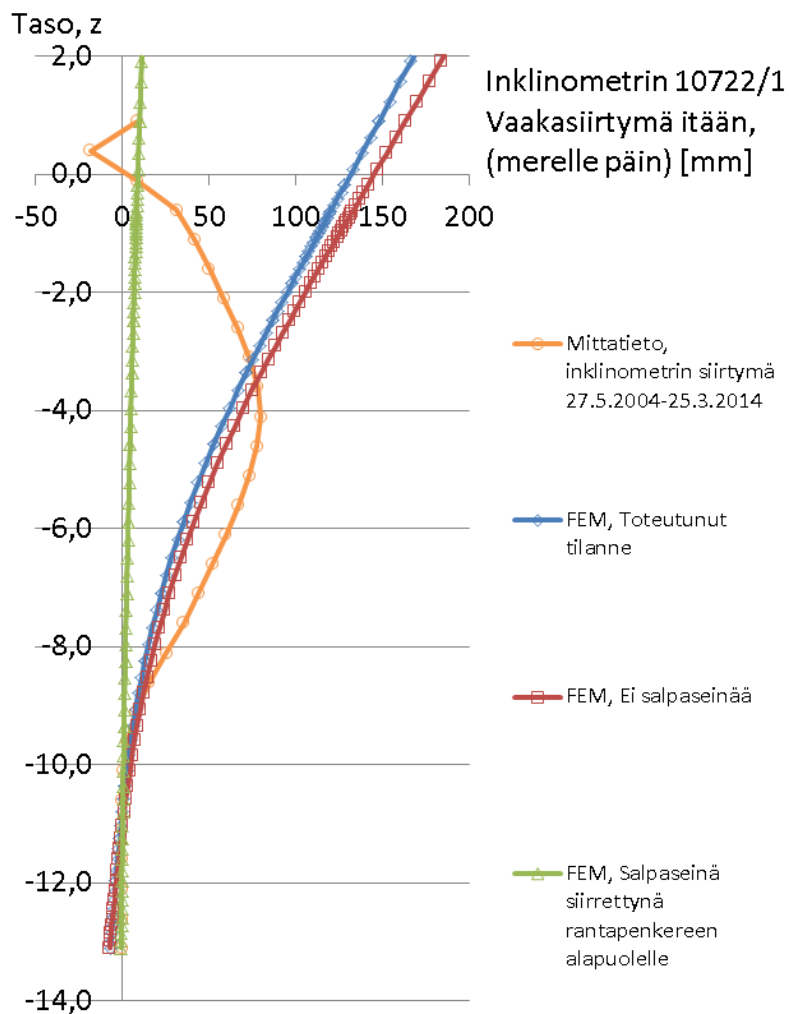
8.5 Salpaseinän etäisyys rannasta

Herkkyystarkastelussa tutkittiin, miten salpaseinän etäisyys rannasta olisi vaikuttanut maan siirtymiin. Kuvassa 8.11. on esitetty malli siten, että salpaseinä sijaitsee rantapenkereen alapuolella. Luvussa 8.1 on todettu, että kun salpaseinä ei ole paalulaatan vieressä, korkea täyttö aiheuttaa heikon stabiliteetin paalulaatan alle. Tarkasteltaessa Kuvia 8.11.–8.13. voidaan todeta, että ranta-alueen vaakasiirtymät pienenevät oleellisesti, kun salpaseinä asetettiin mallinnuksessa rantapenkereen alapuolelle. Kuvasarja osoittaa myös sen, että paalulaatan reunimmaisat paalut joutuivat vaakasuuntaisen rasituksen kohteeksi suojarakenteen puuttuessa.

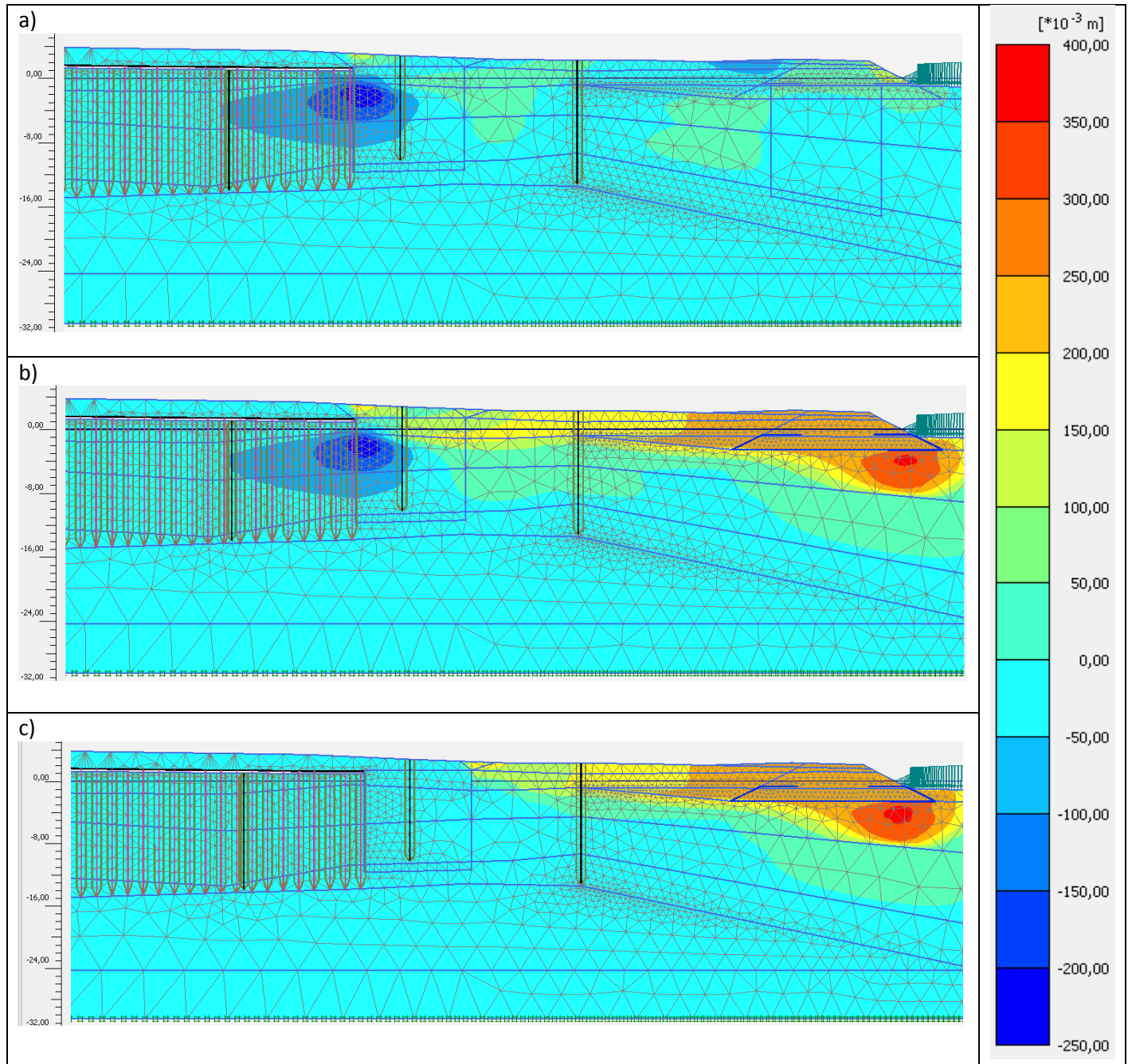
Kuvassa 8.12. on vertailtu ranta-alueen inklinometriputken 10722/1 taipumia eri tapaus-ten pohjalta. Oranssi viiva kuvaa rantapuiston kohdalla olevasta inklinometriputkesta 10722/1 mitattua vaakasiirtymätietoa. Mittaustietoa on verrattu FEM-mallin tuottamiin tuloksiin. Sinisen ja punaisen viivan edustamat arvot ovat melko lähellä mitattua tietoa inklinometrin alapäästä tasolle $z=-5$ saakka. -5 tasoa ylempänä FEM-mallin mukaan inklinometriputkien taipuman pitäisi kasvaa, mutta mitattu tieto näyttää päinvastaista. Vihreä viiva kuvaa rantapuiston alueen inklinometriä, jos salpaseinä olisi rakennettu rantapenkereen alle. Tällöin sivusiirtymät olisivat olleet todella pieniä rantapuiston alueella.



Kuva 8.11. Arabianranta. Salpaseinä siirrettynä rantapenkereen alle. Muotoaan muuttanut kolmioverkko todellisessa skaalassa (v. 2014).



Kuva 8.12. Arabianranta. Rantapuiston inklinometriputkesta 10722/1 mitatun vaakasiirtymän vertailua PLAXIS-mallista saatuihin vaakasiirtymiin.



Kuva 8.13. Arabianranta. Kokonaisvaakasiirtymä vuonna 2014. a) Salpaseinä rantapenkereen alapuolella. b) Ei salpaseinää. c) Salpaseinä toteutettuna paalutuksen vieressä. "+" = siirtymä itään ja "-" = siirtymä länteen.

9 Jatkotutkimukset

Täytön painumien vaikutus

Luvussa 5.2.3 (Vaurioituneet inklinometriputket) todettiin, että sekalainen painuva maatayttö on mitä todennäköisimmin aiheuttanut negatiivista vaippahankausta, joka on nurjauttanut inklinometriputkia ja siksi niistä havaitut sivusiirtymät ovat joissain tapauksissa näyttäneet kiihtyvän. Mahdollinen inklinometriputkien nurjahtaminen on voinut aiheuttaa sen, että niistä mitatut sivusiirtymät ovat suurempia kuin todellisuudessa on tapahtunut. Kyseistä asiaa olisi tarpeen tarkastella täydentävässä tutkimuksessa.

Jotta maan painuminen ei aiheuttaisi inklinometriputkeen negatiivista vaippahankausta, suositellaan uusien putkien asentamista siten, että niiden yläosa olisi täyttökerroksessa suojaputken sisällä (arviolta n. 3 m, mutta tämä on tarkistettava asennuskohdittain). Tämän tavoitteena on, että täytön painuessa suojaputki voisi painua täytön mukana, eikä se kuormittaisi ja painaisi inklinometriputkea pystysuunnassa.

Uusien sivusiirtymäputkien kohdalla putkien yläpäiden (suojaputkien) siirtymät kannattaisi mitata prismoilla. Suojaputken ja sivusiirtymäputken yläpäiden väliin mahdollisesti syntyvä korkeusero voidaan mitata metrimitalla.

Arabianranta

Arabianrannan alueelle ehdotetaan asennettavaksi 5 kpl uusia sivusiirtymäputkia Liitessä 11 esitettyihin sijainteihin. Uudet sivusiirtymäputket on esitetty asennettavaksi salpaseinän päätyjen läheisyyteen sekä rantapuiston alueelle.

Uusista putkista kaksi ehdotetaan sijoitettavaksi alueen 1 paalutuksen ja salpaseinättömän kohdan raja-alueelle, jotta voidaan tarkkailla, pyrkiikö maa siirtymään paalulaatan alle. Edellä mainituista kahdesta putkesta ensimmäinen tehtäisiin suojaputkettomana ja toinen asennettaisiin inklinometrin 10027/13 (toimiva putki) viereen suojaputkella varustettuna. Siten voitaisiin vertailla keskenään suojaputkettoman ja suojaputkellisen inklinometriputken toimintaa.

Salpaseinän pohjoispäädyn läheisyyteen ehdotetaan asennettavaksi yksi inklinometriputki, jotta voidaan tutkia maan liikkeitä myös sillä alueella. Alueella ennestään ollut inklinometriputki 11038/4 on nykyisin mittauskelvoton ja liike viimeisten mittatietojen mukaan on ollut jopa 7 mm/vuosi.

Kaksi sivusiirtymäputkea ehdotetaan sijoitettavaksi 1. ja 2. alueen rantapuiston kaksoispenkereen kohdalle aiempien mittauskelvottomien putkien lähelle. Rantapuiston kohdalle asennettavissa sivusiirtymäputkissa esitetään käytettävän suojaputkea täytön läpäisyn osalta.

Uusilla inklinometriputkilla putken ja suojaputken väliin muodostuva korkeusero ehdotetaan mitattavaksi metrimitalla. Alueella jo olevien inklinometriputkien yläpää on ehdotetaan vaaittavaksi (z-korko) niiden putkien osalta, joista alkuperäinen vaaituskorko on olemassa (myös mittauskelvottomilla putkilla, mikäli mahdollista). Tavoitteena on mitata putken yläpään painumaa ja saada lisätietoa painuman mahdollisesta vaikutuksesta putken nurjahtamiseen.

Lisäksi Arabianrantaan ehdotetaan asennettavaksi xyz-mittauspisteitä (prismoja) sivusiirtymäputkien suojaputkiin. Tällöin voidaan mitata, vastaavatko inklinometriputkista

mitatut vaakasiirtymät takymetrillä (tms.) mitattuja, maanpinnan tasolla tapahtuneita vaakasiirtymiä.

Kyläsaari-Hermanninranta

Kyläsaari-Hermanninrannan –alueelle ehdotetaan asennettavaksi sivusiirtymäputkia usealla eri tavalla. Inklinometriputkia kannattaisi sijoittaa lähelle toisiaan käyttäen eri materiaaleja (muoviputki, alumiiniputki, teräsputki, tb-paalun sisässä oleva inklinometriputki jne.). Uusien, keskenään erilaisten putkien asennuspaikka voisi olla lähellä jotta-kin v. 2014 teräsputkipaalun sisälle asennettua inklinometriputkea, jolloin olisi mahdollista verrata myös näitä keskenään. Lisäksi osalla alueen putkista voitaisiin käyttää suo-
japutkea täyttökerrosten läpäisyn osalta negatiivisen vaippahankauksen välttämiseksi.

Näiden inklinometriputkien avulla voidaan saada lisätietoa siitä, miten inklinometriputkien materiaali ja asennustapa vaikuttavat mittaustuloksiin. Automaattinen inklinometri voisi myös olla yksi vertailukohde jatkotutkimuksissa.

Kyläsaari-Hermanninrannan -alueelle ehdotetut inklinometriputket palvelisivat samalla alueen monitorointia ja geoteknistä suunnittelua, joten niiden asentamisen ja sijainnin suunnittelu tulee tehdä ko. alueen geoteknisen suunnittelijan toimesta.

10 Yhteenveto

Arabianranta on vanhaa merenpohjaa, jota on vuosien saatossa täytetty sekalaisella maamateriaalilla heikkolujuuksisen liejusavi- ja savipohjan varaan. Savikerroksen alla on kitkamaa, joka viettää merta kohti. Täyttöjen takia maapohja on painumisen lisäksi sivusiirtynyt merelle päin. Kun Arabianranta muutettiin aiemmasta puistokäytöstä asuinkäyttöön, rakennettiin sinne 680 m pitkä ja 12...20 m leveä salpaseinärakenne pysäyttämään maan vaakasiirtymät, jotka olivat suuruudeltaan jopa 50 mm/vuosi kohden merta. Salpaseinästä tehtiin ensin koerakenne (1997), minkä jälkeen salpaseinän varsinainen rakentaminen toteutettiin viidessä vaiheessa (2000-2005). Salpaseinä koostuu lamelliseinistä, jotka on toteutettu pilaristabiloimalla.

Salpaseinä suunniteltiin estämään maan liikkeet merelle päin, ja siinä suhteessa salpaseinärakenne on onnistunut. Salpaseinän rakentamisen sekä paalutustöiden jälkeen maan liikkeet pienenevät salpaseinän kohdalla nopeuteen 1 mm/vuosi ja salpaseinän mantereen puoli on liikkunut keskimäärin 0...5 mm/vuosi. Hyperbolisten ennustefunktioiden perusteella arvioituna liike on hidastunut ja pysähtymässä. Vaakasiirtymänopeus tällä hetkellä on salpaseinän keskiosissa (rakennusalueet 2–4) ≤ 1 mm/vuosi. Salpaseinän päätyjen läheisyydessä liikkeet ovat hieman suurempia. Tämä selittyy sillä, että maa pääsee siirtymään salpaseinärakenteen ohi. Paalulaatan reunalla pohjamaata kuormittavan maatäytön paksuus muuttuu, mikä saattaa selittää sen, että eteläpäässä maa on siirtynyt kohti paalutusta. Myös pohjoispäädyn lähellä maa on liikkunut.

FEM-mallin herkkyystarkastelun havaintojen perusteella vaikuttaa siltä, että salpaseinän sisäinen leikkauslujuus olisi voinut olla alempi ja salpaseinän leveyttä olisi voinut ka-ventaa pehmeikön paksuudesta ja kovan pohjan kaltevuudesta riippuen.

FEM-mallilla arvioituna salpaseinä ja paalutus pysäyttivät yhdessä alueen vaakaliikkeen jopa 95 %:sti. Arvion mukaan salpaseinä pysäytti liikkeestä n. 80 %, kun taas loput 20 % maan vaakaliikkeen suuruudesta ottivat vastaan teräsbetonipaalut yhdessä paalulaatan kanssa.

Inklinometrimittausten ja FEM-mallinnuksen perusteella salpaseinän päätyjen läheisyydessä (paalulaatan rajan kohdalla) maan täyttötasojen erot maanpinnan ja paalulaatan alapinnan välillä aiheuttavat heikon stabiliteetin paalulaatan alle. Suurimmillaan vaakasiirtymät 1. rakennusalueen eteläosassa ovat olleet 88 mm ja ennustemallin mukaan siirtymistä tulee tapahtumaan vielä n. 27 mm (lopullinen vaakasiirtymä 115 mm). Siirtymien selvittämiseksi ja paaluperustusten toimivuuden varmistamiseksi tässä työssä ehdotetaan jatkoseurantaohjelmaa.

Arabianrannassa vaakasiirtymien on havaittu olleen pienempiä niillä alueilla (4–6), joissa on käytetty rantapenkereenä yksöispenkertä. Kaksoispenkereen alueella siirtymät ovat suurempia, mihin voi olla useita syitä. Liejusavi- ja savikerrokset ovat lujuudeltaan heikompia rakennusalueilla 1–3, mutta toisaalta yksöispenkereen alueella ranta-alueen täyttökerrokset on tehty kevyemmästä sekalaisesta koheesiomaasta. Kaksoispenkereen alueella myös ankkuroiva penger on sekalaista koheesiomaata painavampaa maamateriaalia. Painavampi maamateriaali aiheuttaa suuremmat siirtymät.

Diplomityön aikana ilmeni, että inklinometriputkista mitatut sivusiirtymät eivät ole aina luotettavia. Paksujen täyttöjen alla ja paljon painuvalla savikolla hentoihin inklinomet-

riputkiin kohdistuu negatiivista vaippahankausta, jolloin sivusiirtymäputki voi nurjautaa. Tätä asiaa tulisi tutkia tarkemmin.

Helsingin Arabianrannan esirakentaminen sekä maaperän kunnostus maksoivat arviolta 78 miljoonaa euroa. Kyseinen summa vastaa n. 40 % tonttimaan arvosta ja rakennettua kerrosneliötä kohti kustannuksia kertyi siten 260 euroa.

Lähdeluettelo

Aalto, A. 1998. Syvästabilointi –kirjallisuus ja haastattelututkimus. Espoo, Teknillinen korkeakoulu.

Aalto-yliopisto. 2012. Geotekniikan perusteet –kurssin luentokalvot. Stabiliteetti.

Forsman, J. 2009. Porvoo, länsiranta. Ranta-alueen lujittaminen syvästabiloinnilla. Suomen geotekninen yhdistys, Pohjanvahvistuspäivä 20.8.2009, Otaniemi.

Forsman, J. & Koivisto, K. 2006. Remediation of the Old Myllypuro Landfill Using Column Stabilisation. AMGISS, Zürich, 12.9.2006.

Fundus Oy. 2000a. Suunnitteluohjeet talonrakennusta varten. Arabianrannan aloitus-alue, osa-alue 1.

Fundus Oy. 2000b. Maan kerrosrakenteen kuvaus, alueen täyttövaiheet. Arabianrannan aloitusalue, osa-alue 1.

Gulin, K. & Wikström, R. 1997. Stabilization of horizontal movements in weak organic clay layers. Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engng. Hamburg 1997. Vol. III, p. 1689...1692.

Gulin, K. & Wikström, R. 2000. A full-scale test of a displacement barrier. Proc. 4th Int. Conf. Ground Improvement Geosystems. Helsinki, Finland, June 7.-9. 2002.

Hartman, E. 2008. Paaluperustuksiin kohdistuvien sivukuormitusten vähentäminen – Toukorannan suojaseinä. Teknillinen korkeakoulu. Pohjarakennus ja maamekaniikka, Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta.

Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirasto. 2009. Katsaus Helsingin pilaantuneisiin maihin. ISSN 1458-9664.

Helsingin kaupungin Rakennusvirasto & Kiinteistöviraston geotekninen osasto. 2005. Suunnitteluohjeet talonrakentamista varten. Arabianrannan pohjoisosan osa-alueet 6, 7 ja 8, esi- ja katurakentamisen sekä vesihuollon yleissuunnittelu. 24.10.2005.

Juntunen, P. & Korhonen, O. 2002. Pikku-Huopalahden esirakentamiskokemukset. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsingin kaupunki. Julkaisu 86/2002.

Karppinen, J. 2006. Jätetäyttömäen stabiliteetti ja pohjavahvistus. Insinöörityö. Stadia.

Keller Ground Engineering Pty Ltd. 2015. Stabiloinnin kuivamenetelmä –esite. [viitattu 25.2.2015]. saatavissa:

<http://www.kellerge.com.au/sites/default/files/LCM%20Dry%20Soil%20Mixing.pdf>

Koivisto, K., Forsman, J. & Länsivaara, T. 2005. Use of Deep Stabilisation as a Countermeasure against Vehicle Generated Ground Vibration. DeepMixing '05, Stockholm, Sweden, May 23-25, 2005.

- Koivisto, K., Hellberg, J., Forsman, J., Viitala, T., & Länsivaara, T. 2009. Finite Element Modelling of Deep Stabilization Test Structures Used in Attenuating Railway Induced Ground Vibration at Koria, Finland. Deep Mixing 2009 Okinawa Symposium, International Symposium on Deep Mixing & Admixture Stabilisation. 19.-21.5.2009, Japan.
- Kondner, R. & Zelasko, J. 1963. A hyperbolic stress-strain formulation for sands. Proc. 2nd Panam. Conf. Soil Mech. & Found. Engng. Sao Paulo 1963. Vol. I, p. 289...324.
- Korhonen, K-H. 1972. Maalajien muodonmuutosominaisuuksista. Helsinki, VTT.
- Korhonen, K-H. 1977. Heikosti kantavan maapohjan konsolidoituminen. Espoo, VTT.
- Korhonen, O. 2008. Kuntatekniikka. Arabianranta muuttuu takapihasta eturivin asuin-alueeksi. Artikkelit 3/2008 s.26-29.
- Korkiala-Tanttu, L. 1984. Konsolidoituvan ja hiipuvan maakerroksen painumisnopeus. Diplomityö. Espoo, Teknillinen korkeakoulu.
- Kopponen, J. 1996. Porvoon Länsirannan pohjanvahvistus. Insinööritö. Rakennusosasto, Lahden teknillinen oppilaitos, Lahden Ammattikorkeakoulu.
- Krige, D. 1951. A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand. Master's thesis of the University of Witwatersrand.
- Leppänen, M. 1989. Vahvistinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsingin kaupunki.
- Liikennevirasto 2010. Syvästabiloinnin suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. 10/2010 Liikenneviraston ohjeita.
- Länsivaara, T. & Janbu, N. 1998. Stability of the Arabianranta area. Trondheimin yliopiston raportti.
- Länsivaara, T. & Hartikainen, J. 1998. Arabianrannan stabiliteettilaskennat. Trondheimin yliopiston ja Tampereen teknillisen korkeakoulun raportti.
- Maijala, A., Forsman, J., Lahtinen, P., Leppänen, M., Helland, A., Håøya, A-O. & Konieczny, R. 2009. Binders, methods and techniques to stabilize / solidify polluted soil and sediment.
- Norsk Geoteknisk Forening 2012. Veiledning kalksementpelaar.
- Näätänen, A. 1997. Arabianrannan puistoalueen vakavuustarkastelu.
- Paatsema, M. & Kangas, H. 2003. Syvästabiloinnin pitkäaikaiset seurantatutkimukset. Helsingin kaupungin Kiinteistöviraston Geoteknisen osaston julkaisu 87/2003.
- Pirinen, J. 1984. Kelluvan rantapenkereen rakentaminen. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsingin kaupunki.

Puumalainen, N. 1998. Vakuumikonsolidoinnin laskennallinen mallintaminen. Lisensiaatintyö. Pohjarakennus ja maamekaniikka, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu.

Puumalainen, N. & Vepsäläinen, P. 1997. Vakuumikonsolidaatiokoe Helsingin Arabianrannassa. Loppuraportti. Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.

Rathmayer, H. & Korhonen, O. 1985. Geotextile reinforced land reclamation in the Bay of River Vantaa. Proc. 11th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engng, San Francisco, 1985. 1795–1800 pp.

Ramboll 2008. Myllypuron entisen kaatopaikan kunnostus, Eteläosan stabilointi, Täydentävä pohjanvahvistus. Työselitys 31.1.2008.

Salla, A. 2010. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Lausunto Arabianrannan pilaantuneista maista.

Savolainen, M. & Halkola, H. 2001. Painuma-, sivusiirtymä-, ja huokosvedenpainemittausten tarkkuus. Geotekninen osasto, Kiinteistövirasto, Helsingin kaupunki.

SFS-EN 14679+AC 2005. Pohjarakennustyöt. Syvästabilointi.

Toroi, S. 2007. Mertakadun koerakenteen seurantamittaukset. Insinöörityö.

Viatek Oy. 2005. Arabianrannan esirakentaminen, osa-alue 5, Salpaseinämän syvästabiloinnin työohjeet koeluontoista aloittamista varten. 16.5.2005.

Vähäaho, I. 2000. Deep wet soil-mixing test at Old City Bay in Helsinki. Proc. 4th Int. Conf. Ground Improvement Geosystems, Helsinki, 2000. 55-62pp. 7.–9.6.2000.

Vähäaho, I. 2002. Deep mixing at Old City Bay in Helsinki. Tokyo Workshop 2002 on Deep Mixing. Kitazume, M. and Terashi, M. (eds.), Port and Airport Research Institute & Coastal Development Institute of Technology, Tokyo, 2002. 204-210pp. 15.–16.10.2002.

Vähäaho, I. 2003. Pohjarakentamisen laadunvarmistus – Case syvästabilointi. PP-esitys, Prima-kehitysohjelman seminaari.

Vähäaho, I., Kangas, H., Takahashi, H. and Kitazume, M. 2005. Effect of permeability and stiffness of treated column on consolidation phenomenon of improved ground. Proc. 16th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engng. Osaka 2005. p. 1269-1274.

Vähäaho, I. 2009. Long-term follow-up monitoring of column treated ground. Int. Symp. on Deep Mixing & Admixture Stabilization, Okinawa, 2009. 19.–21.5.2009.

Ylönen, S. 2015. TkT. FinMeas Oy. Haastattelu 20.1.2015.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. 2015. Internet-sivu, [viitattu 25.2.2015]. saatavissa:

http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet

Liiteluettelo

- Liite 1. Koontitaulukot ja -kartat Arabianrannassa mitatuista sivusiirtymistä. 8 s., A3.
- Liite 2. Inklinometrien mittausdatasta laaditut sivusiirtymäkuvaajat. 37 s., A4.
- Liite 3. Laskelma maanpaineista eri puolilta salpaseinää, sekä salpaseinän leveyden B laskenta kaatumis- (ja liukuvarmuuden) kautta. 8 s., A4.
- Liite 4. Sivusiirtymänopeuskartat rakennustöiden jälkeen (2002–2014). Nopeudet arvioitu suurimman mitatun siirtymän perusteella. Kokonaissiirtymänopeus sekä siirtymänopeudet itä-länsi ja pohjois-etelä -suunnissa. 3 s., A3.
- Liite 5. Kokonaissivusiirtymäkartta rakennustöiden jälkeen (2002–2014). Kokonaissivusiirtymät on arvioitu suurimman mitatun siirtymän perusteella. 1 s., A3.
- Liite 6. Sivusiirtymänopeuskartta ennen rakennustöitä (1997–2000). 1 s., A3.
- Liite 7. Sivusiirtymänopeuskartat rakennustöiden jälkeen (2002–2014). Nopeudet arvioitu tasojen $z = -5,0$ ja $z = -10,0$ mittausten perusteella. 2 s., A3.
- Liite 8. Valokuvia Arabianrannasta 14.12.2014. 6 s., A4.
- Liite 9. Sivusiirtymäennusteiden hyperboliset sovitteet ja -yhtälöt. 4 s., A4.
- Liite 10. Parametrien laskentaa ja arviointia Plaxis-2D-ohjelmaa varten. 1 s., A4.
- Liite 11. Arabianrannan jatkotutkimusohjelma. Sivusiirtymäputkille ehdotetut sijainnit. 1 s., A3.

1. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinoimetriputkien mittaukset):

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	
Salpaseinän	4810	68	25498899	6677003	+2.7	16.5	-1.8	-14.4	0,283	241	24.2.1995 – 16.9.2003	48	8.5.2001	110	1.7	100	33	75	90	5.9	26,3	11,1	0,1	1,7	
mantereen	5337	1	25498872	6676970	+1.7	12.0	-1.0	-15.8	0,180	108	23.6.1997 – 3.11.1999	13	8.5.2001	315	-3.8	100				100	42,3				
puoli	5337	2	25498872	6676968	+1.9	18.0	-1.0	-16.0	0,187	46	23.6.1997 – 22.11.2000	46	8.5.2001	310	-4.1	198	133			132	40,6	-7,0			
	5337	3	25498872	6676967	+1.8	13.0	-1.2	-16.0	0,297	386	23.6.1997 – 3.11.1999	12	8.5.2001	320	-4.2	99			99	41,9					
	5337	4	25498869	6676968	+1.9	13.0	-1.6	-15.7	0,140	80	23.6.1997 – 3.11.1999	14	8.5.2001	305	0.9	84			84	35,6					
	5451	5	25498873	6676982	+2.6	17.0	-1.4	-14.4	0,388	116	4.2.1998 – 4.1.2001	46	8.5.2001	315	-4.4	120	90			56	33,9	-130,7			
	5451	6	25498858	6676943	+2.9	19.0	-1.0	-18.0	0,272	227	4.2.1998 – 14.9.2012	64	8.5.2001	315	-6.1	161	100	130	161	37,7	18,8	3,0	1,7	2,3	
	10027	2	25498852	6677009	+3.4	14.0	-2.6	-8.8	0,312	253	18.10.2000 – 9.10.2001	12	9.10.2001	210	2,4	63			63		64,6				
	10027	3	25498769	6677029	+3.7	12.0	-2.0	-7.0	0,220	137	13.10.2000 – 31.8.2001	12	3.7.2001	45	2,7	36			14		15,9				
	10027	4	25498815	6676993	+3.2	14.5	-2.4	-10.0	0,398	372	13.10.2000 – 10.6.2002	16	3.7.2001	100	+2,2	51			41	41	24,8				
	10027	6	25498874	6677010	+2.9	16.5	-2.0	-9.8	0,457	273	18.10.2000 – 9.10.2001	11	8.5.2001	130	+1,9	54			50		51,3				
	10027	7	25498889	6676987	+1.6	22.0	-1.0	-15.0	0,503	247	20.10.2000 – 25.7.2001	9	8.5.2001	150	-1,2	11			10		13,1				
	10027	8	25498835	6676974	+2.2	20.0	-2.0	-13.0	4,536	154	25.10.2000 – 12.3.2014	29	8.5.2001	245	0,7	248			209	179		-136,3	2,5	0,8	2,5
	10027	9	25498848	6676962	+2.5	16.0	-2.6	-16.5	0,630	379	25.10.2000 – 20.12.2000	5	8.5.2001	130	-9	180			180		1174,0				
	10027	10	25498870	6676957	+2.3	22.0	-1.0	-17.8	0,740	131	20.10.2000 – 10.6.2002	16	8.5.2001	100	-7,2	327			324	324	209,4				
	10027	33	25498826	6676990	+2.5	15.0	-2.2	-10.5	0,117	195	4.12.2000 – 11.6.2002	12	3.7.2001	55	-2	55			55	55	36,3				
	10027	34	25498789	6676985	+2.9	18.5	-2.2	-11.5	1,695	322	10.1.2001 – 10.6.2002	10	3.7.2001	165	-4,6	47			34	34	24,1				
	10027	35	25498858	6676965	+1.5	25.0	-3.0	-15.8	0,385	173	18.1.2001 – 18.6.2001	4	8.5.2001	60	0,5	43			43		104,0				
	10027	36	25498892	6677025	+1.6	19.0	-2.0	-10.8	0,263	166	10.1.2001 – 30.8.2001	5	5.3.2002	5	-10	7			6		9,4				
	10027	37	25498899	6676993	+1.7	18.0	-1.0	-15.8	0,013	185	17.1.2001 – 12.6.2002	8	8.5.2001	5	-10	78			78		55,8				
	10027	38	25498901	6677013	+1.9	20.0	-1.6	-13.4	0,576	28	17.1.2001 – 9.10.2001	6	8.5.2001	290	-2,6	23			22		30,3				
	10027	49	25498885	6676976	+1.9	23.5	-1.0	-16.0	0,132	21	20.4.2001 – 12.6.2002	9	8.5.2001	360	-0,1	18			17	17	16,2				
	10027	50	25498868	6676956	+2.0	26.5	-1.0	-17.8	0,276	53	20.4.2001 – 10.6.2002	11	8.5.2001	20	-6,5	30			28	27	24,6				
	10027	51	25498837	6676938	+1.7	20.5	-4.0	-16.2	0,338	275	26.4.2001 – 7.3.2014	22	8.5.2001	95	-9,3	88			40	88	38,7	4,1	2,8	4,0	
	10027	52	25498904	6676995	+1.2	23.5	-1.4	-16.2	0,287	319	4.6.2001 – 4.12.2002	5	8.5.2001	170	-1,2	10			8	10	8,6	3,5	2,0	3,2	
	10027	53	25498908	6677026	+1.2	17.5	-2.0	-12.6	0,367	38	26.4.2001 – 14.11.2002	9	5.3.2002	200	-7,8	30			26		16,7				

1. Sijainti
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x
6. Inklinoimetriputken yläpään taso
7. Inklinoimetriputken mitattavan osan pituus
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä

* As. Oy Rörstrandinpiha rakennuslupa myönnetty 8.5.2001.
* Hoas Arabianranta rakennuslupa myönnetty 3.7.2001.
** Salpaseinän koarakenneosio oletettavasti vaikuttanut tulokseen.
R6: Alueella on myös ollut kiinteistön (As. Oy Helsingin Sini) omia inkl.putkia, mutta niiden tarkasta sijainnista ei ole varmuutta. Lisäksi havainnointijakson pituus on ollut lyhyt.

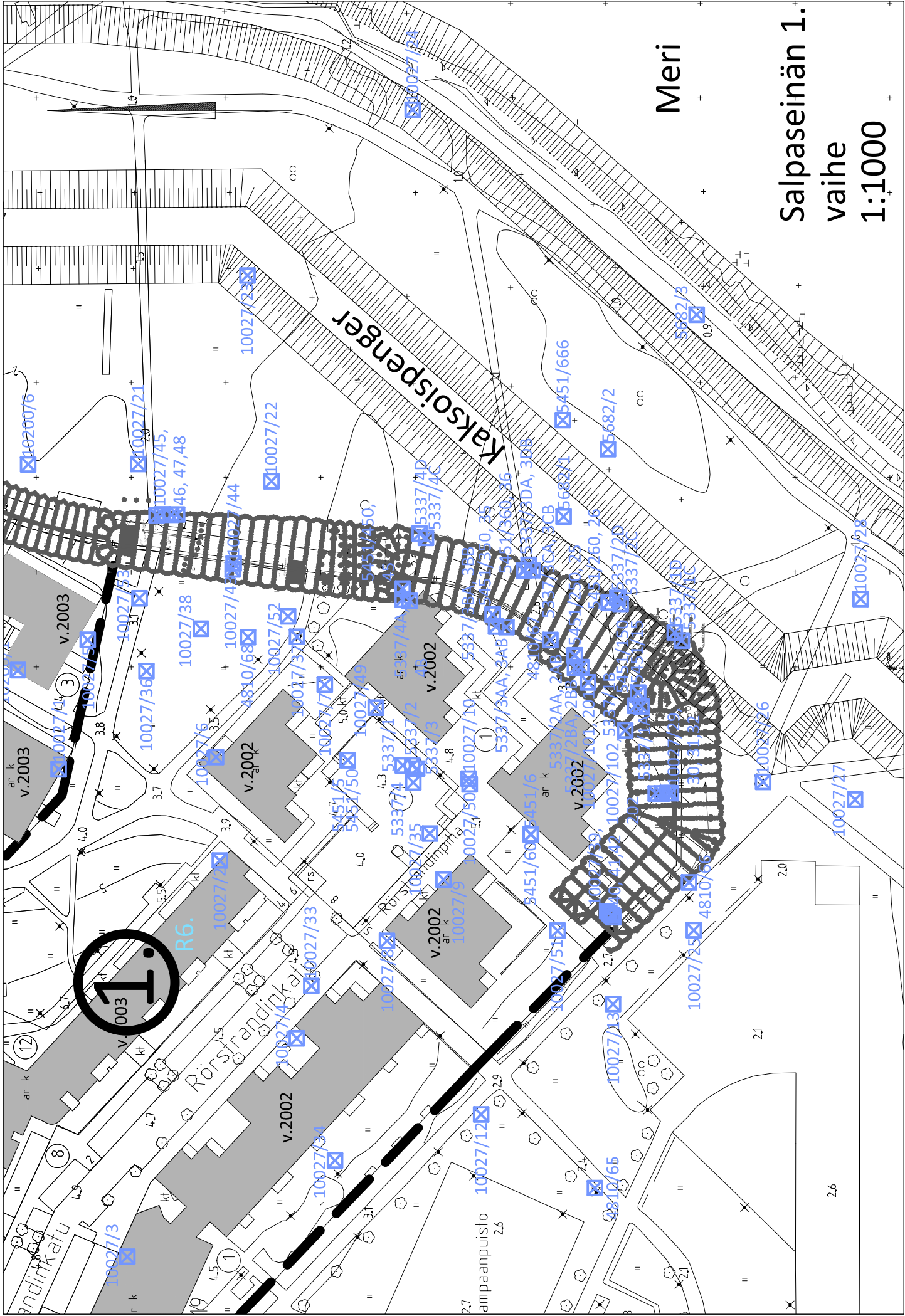
ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.

14. Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
15. Siirtymän pääsuunta [gon]
16. Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
17. Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
18. Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
19. Vaakasiiirtymä, paalutustyön jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvan myöntämisestä) [mm]
20. Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
21. Vaakasiiirtymänopeus, ennen salpaseinän rakentamista [mm/vuosi]
22. Vaakasiiirtymänopeus, rakennustöiden (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
23. Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyön jälkeen [mm/vuosi]
24. Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
25. Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

* As. Oy Helsingin Sini rakennuslupa myönnetty 9.10.2001.
* As. Oy Helsingin Teema rakennuslupa myönnetty 5.3.2002.
** Salpaseinän koarakenneosio oletettavasti vaikuttanut tulokseen.

R6: Alueella on myös ollut kiinteistön (As. Oy Helsingin Sini) omia inkl.putkia, mutta niiden tarkasta sijainnista ei ole varmuutta. Lisäksi havainnointijakson pituus on ollut lyhyt.

ko. inklinoimetriputken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.



1. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinometriputkien mittaukset):

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.
Salpaseinän kohta	5451	15	25498888	6676921	+2.9	26,0	-1,0	-21,5	0,335	258	3.2.1998 — 18.6.2013	67	8.5.2001	300	-9,6	79	60	71	62	22,6	-6,9	0,8	0,6	0,8
	5451	25	25498896	6676934	+2.8	23,5	-1,5	-20,2	0,738	141	3.2.1998 — 19.6.2013	66	8.5.2001	300	-7,2	63	50	56	47	18,8	-3,8	0,8	0,8	0,8
	5451	36	25498914	6676945	+2.6	25,0	-2,0	-19,5	0,694	332	4.2.1998 — 14.3.2014	68	8.5.2001	270	1,6	49	33	22	20	12,4	6,9	0,2	0,9	0,7
	5451	45	25498910	6676970	+2.6	23,5	-2,0	-18,0	0,689	359	4.2.1998 — 14.3.2014	66	8.5.2001	140	-11	61	41	35	37	15,4	-3,8	0,2	0,3	0,5
	10027	29	25498866	6676917	+2.2	23,0	-1,2	-19,3	0,408	256	17.11.2000 — 12.3.2014	27	8.5.2001	55	-9,3	87	70	71		43,8	0,1	0,0	0,2	
	10027	30	25498866	6676916	+2,0	23,0	-1,2	-19,3	0,207	319	17.11.2000 — 11.3.2014	27	8.5.2001	45	-9	88	62	66		38,8	0,3	0,3	0,4	
	10027	31	25498867	6676915	+1.8	23,0	-1,2	-19,3	0,243	82	17.11.2000 — 12.3.2014	25	8.5.2001	65	-8,7	84	59	64		36,9	0,4	0,3	0,4	
	10027	32	25498866	6676914	+1.6	23,0	-1,2	-19,3	0,117	103	17.11.2000 — 12.3.2014	26	8.5.2001	75	0,6	73	57	58		35,6	0,1	0,1	0,2	
	10027	39	25498842	6676927	+1.5	21,0	-1,5	-17,3	0,181	346	18.1.2001 — 12.3.2014	23	8.5.2001	90	-6,5	48	44	48		27,5	0,3	0,3	0,3	
	10027	40	25498841	6676927	+1.5	21,0	-1,5	-17,3	0,072	263	16.1.2001 — 11.3.2014	23	8.5.2001	105	-8	76	74	74		46,3	0	0,0	0,0	
	10027	41	25498841	6676926	+1.5	21,0	-1,5	-17,3	0,082	114	16.1.2001 — 12.3.2014	22	8.5.2001	75	-8	78	74	77		46,3	0,3	0,3	0,2	
	10027	42	25498840	6676926	+1.5	21,3	-1,5	-17,3	0,367	282	16.1.2001 — 25.6.2007	16	8.5.2001	105	-8	77	74	76		46,3	0,4	0,4	0,5	
	10027	46	25498925	6677019	+1.8	17,5	-2,0	-15,5	0,147	305	7.5.2001 — 12.3.2014	21	5.3.2002	115	1,8	33	25	31		10,3	0,5	0,2	0,2	
	10027	201	25498890	6676931	+2.2	23,0	-1,6	-20,2	1,763	105	10.5.2001 — 12.3.2014	19	8.5.2001	385	0,2	31	10	29		6,3	1,6	1,5	1,2	

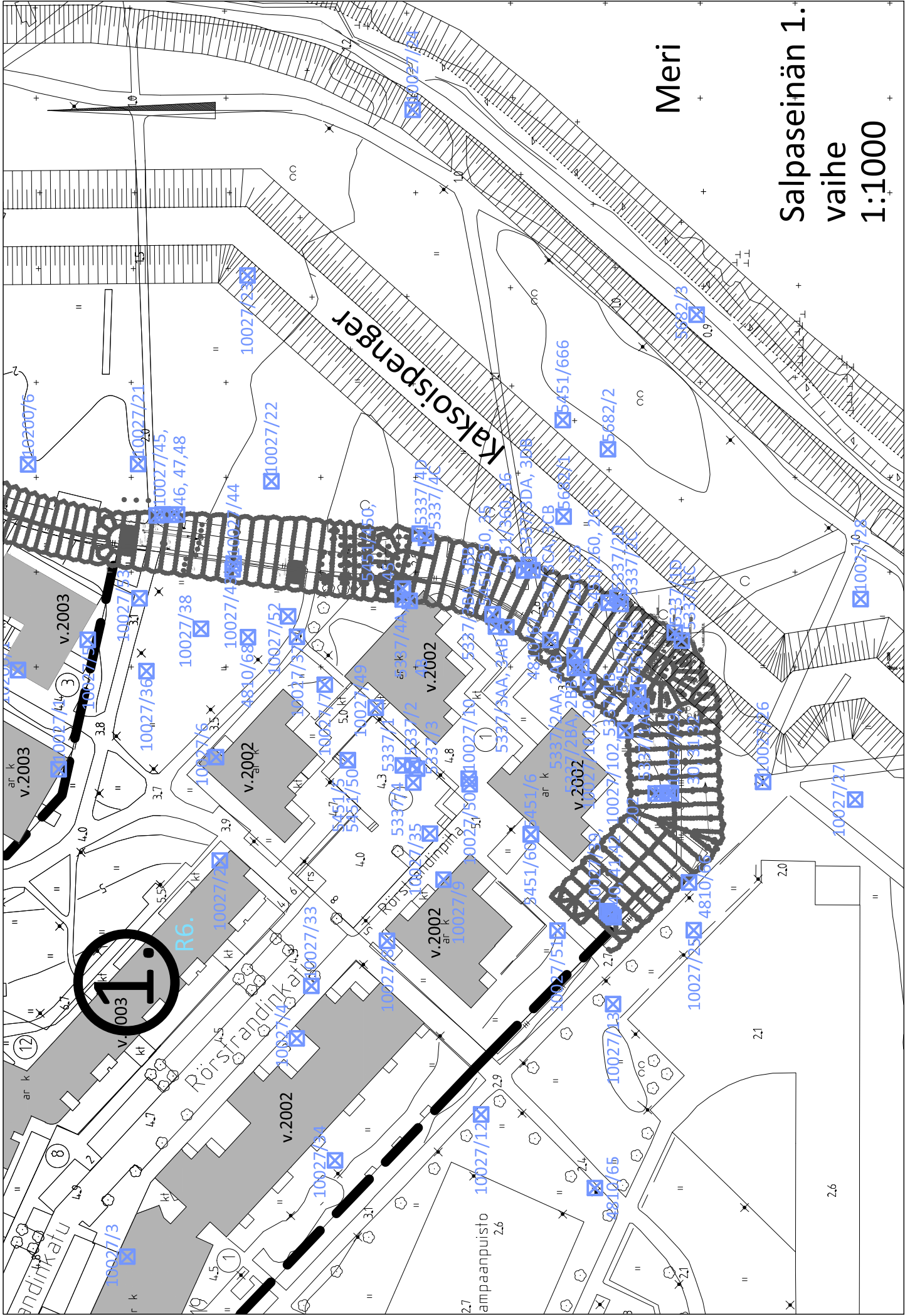
1. Sijainti
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x
6. Inklinometriputken yläpään taso
7. Inklinometriputken mitattavan osan pituus
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä

* As. Oy Rörstrandinpiha rakennuslupa myönnetty 8.5.2001.
* Hoas Arabianranta rakennuslupa myönnetty 3.7.2001.
Salpaseinän koerakenneosio rakennettu 6/1997-9/1997.
Salpaseinän 1. vaihe rakennettu 10/2000-6/2001.

14. Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
15. Siirtymän pääsuunta [gon]
16. Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
17. Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
18. Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
19. Vaakasiiirtymä, paalutustyön jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvan myöntämisestä) [mm]
20. Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
21. Vaakasiiirtymänopeus, ennen salpaseinän rakentamista [mm/vuosi]
22. Vaakasiiirtymänopeus, rakennustöiden (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
23. Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyön jälkeen [mm/vuosi]
24. Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
25. Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

* As. Oy Helsingin Sini rakennuslupa myönnetty 9.10.2001.
* As. Oy Helsingin Teema rakennuslupa myönnetty 5.3.2002.
ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.

ko. inklinometriputken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.



1. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinometriputkien mittaukset):

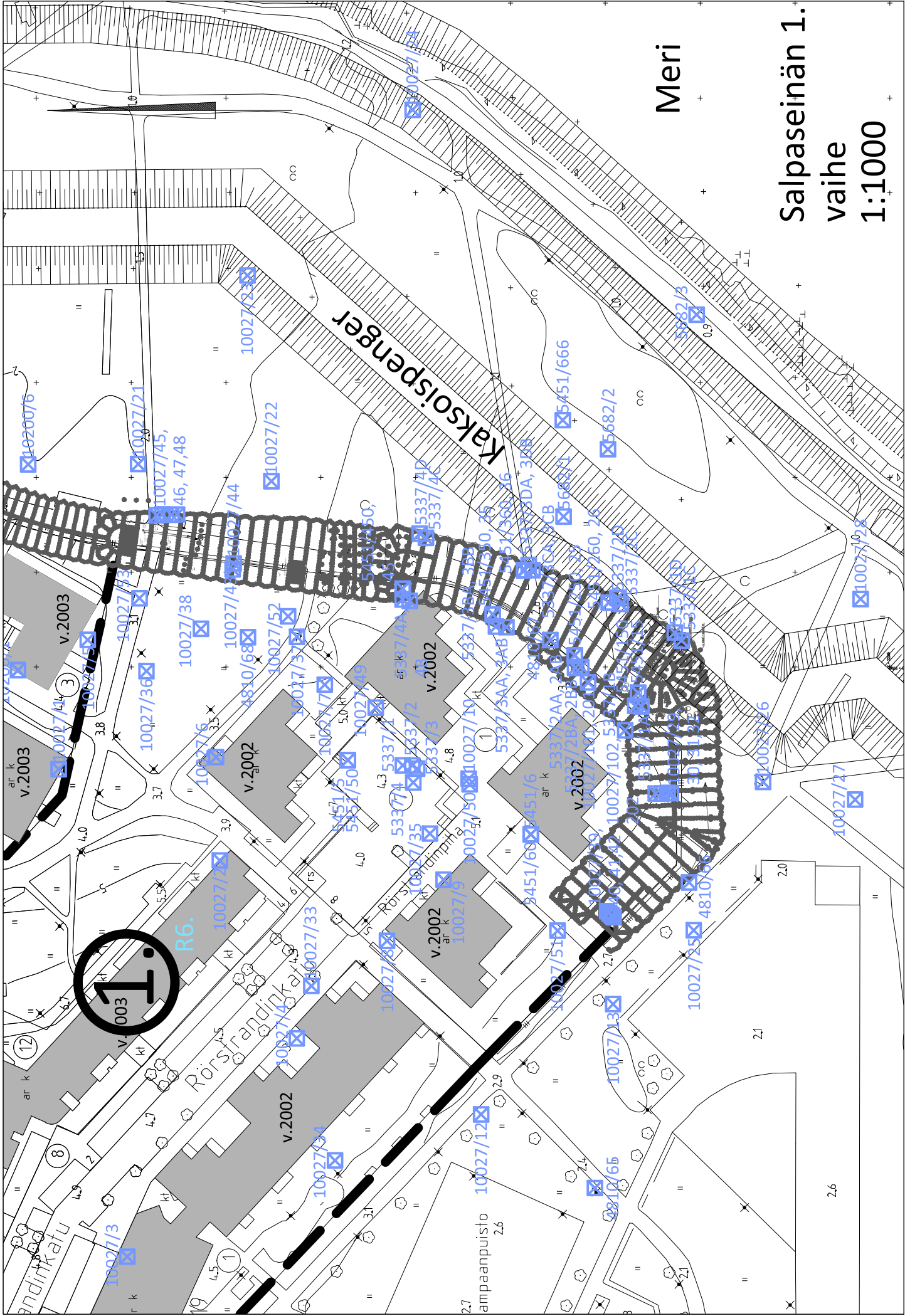
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.		
Salpaseinän rannan puoli	4810	65	25498783	6676930	+3.1	19,0	-1,2	-15,0	0,274	375	24.2.1995	—	10.12.2002	20	8.5.2001	50	+1,6	63	40	53	63	7,1	8,1	16,9	4,1	0,2
	4810	66	25498848	6676910	+2,7	24,2	-1,0	-19,2	0,363	241	24.2.1995	—	5.9.2000	43	8.5.2001	320	-17	75	22							
	5451	666	25498945	6676937	+3.3	12,5	-2,0	-21,8	0,068	365	8.11.2000	—	24.4.2001	5	8.5.2001	200	+2,3	43		35		76,5				
	5682	1	25498925	6676937	+2,0	25,5	-2,0	-19,0	0,613	240	3.2.1999	—	2.12.2002	34	8.5.2001	130	+1,0	37	15	32	34	9,0	10,6	3,5	3,5	3,2
	5682	2	25498939	6676927	+1,5	23,5	-2,0	-23,0	0,820	275	3.2.1999	—	19.7.2006	34	8.5.2001	130	-5	127	10	25	127	6,0	9,4	24,3	24,3	16,6
	5682	3	25498967	6676908	+1,6	25,0	-2,0	-20,0	0,324	188	3.2.1999	—	3.1.11.1999	7	8.5.2001	130	-5,4	7		5	6,7					
	10027	12	25498799	6676954	+2,9	21,3	-1,9	-15,0	0,273	239	25.10.2000	—	10.6.2002	15	3.7.2001	50	-6,1	80		80	80		49,3			
	10027	13	25498822	6676926	+3,0	26,0	-4,2	-17,4	1,127	172	21.11.2000	—	11.3.2014	24	8.5.2001	50	-11	216		43	216		29,5	14,6	5,6	14,4
	10027	21	25498936	6677026	+2,0	19,5	-2,0	-15,2	0,481	128	8.11.2000	—	11.2.2002	12	5.3.2002	75	-3,5	65				65	51,6			
	10027	22	25498932	6676998	+1,5	23,5	-2,0	-17,5	0,300	146	8.11.2000	—	1.1.1.2001	11	8.5.2001	75	-5	87				81	82,6			
10027	23	25498976	6677003	+1,2	27,0	-3,0	-19,0	0,799	130	8.11.2000	—	31.10.2001	10	8.5.2001	50	0,2	25		22		22,5					
10027	24	25499011	6676968	+1,0	33,0	-2,0	-24,0	0,550	264	8.11.2000	—	1.1.1.2001	10	8.5.2001	160	-8	14		14		14,3					
10027	25	25498838	6676909	+2,3	29,0	-1,5	-19,2	0,449	201	17.11.2000	—	11.3.2014	24	8.5.2001	60	-11	152		30	152		20,4	10,3	10,3	9,7	
10027	26	25498869	6676894	+2,2	29,0	-1,4	-20,8	0,501	68	22.11.2000	—	11.3.2014	23	8.5.2001	70	-7,8	158		43	158		29,5	9,7	9,3	9,7	
10027	27	25498865	6676875	+1,9	29,0	-1,0	-21,2	0,625	380	6.11.2000	—	4.2.2002	11	8.5.2001	150	-13	16		9		7,2					
10027	28	25498907	6676874	+1,7	30,5	-2,6	-24,5	1,861	326	6.11.2000	—	2.5.2005	14	8.5.2001	130	-4,3	73		37	73		24,6	12,1	12,1	8,6	

1. Sijainti
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x
6. Inklinometriputken yläpään taso
7. Inklinometriputken mitattavan osan pituus
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä

* As. Oy Rörstrandinphi rakennuslupa myönnetty 8.5.2001.
* Hoas Arabianranta rakennuslupa myönnetty 3.7.2001.
Salpaseinän koerakennusio rakennettu 6/1997-9/1997.
Salpaseinän 1. vaihe rakennettu 10/2000-6/2001.

14. Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
15. Siirtymän pääsuunta [gon]
16. Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
17. Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
18. Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
19. Vaakasiiirtymä, paalutustyön jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvnan myöntämisestä) [mm]
20. Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
21. Vaakasiiirtymänopeus, ennen salpaseinän rakentamista [mm/vuosi]
22. Vaakasiiirtymänopeus, rakennustöiden (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
23. Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyön jälkeen [mm/vuosi]
24. Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
25. Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

* As. Oy Helsingin Sini rakennuslupa myönnetty 9.10.2001.
* As. Oy Helsingin Teema rakennuslupa myönnetty 5.3.2002.
ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.
ko. inklinometriputken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.



2. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinometriputkien mittaukset):

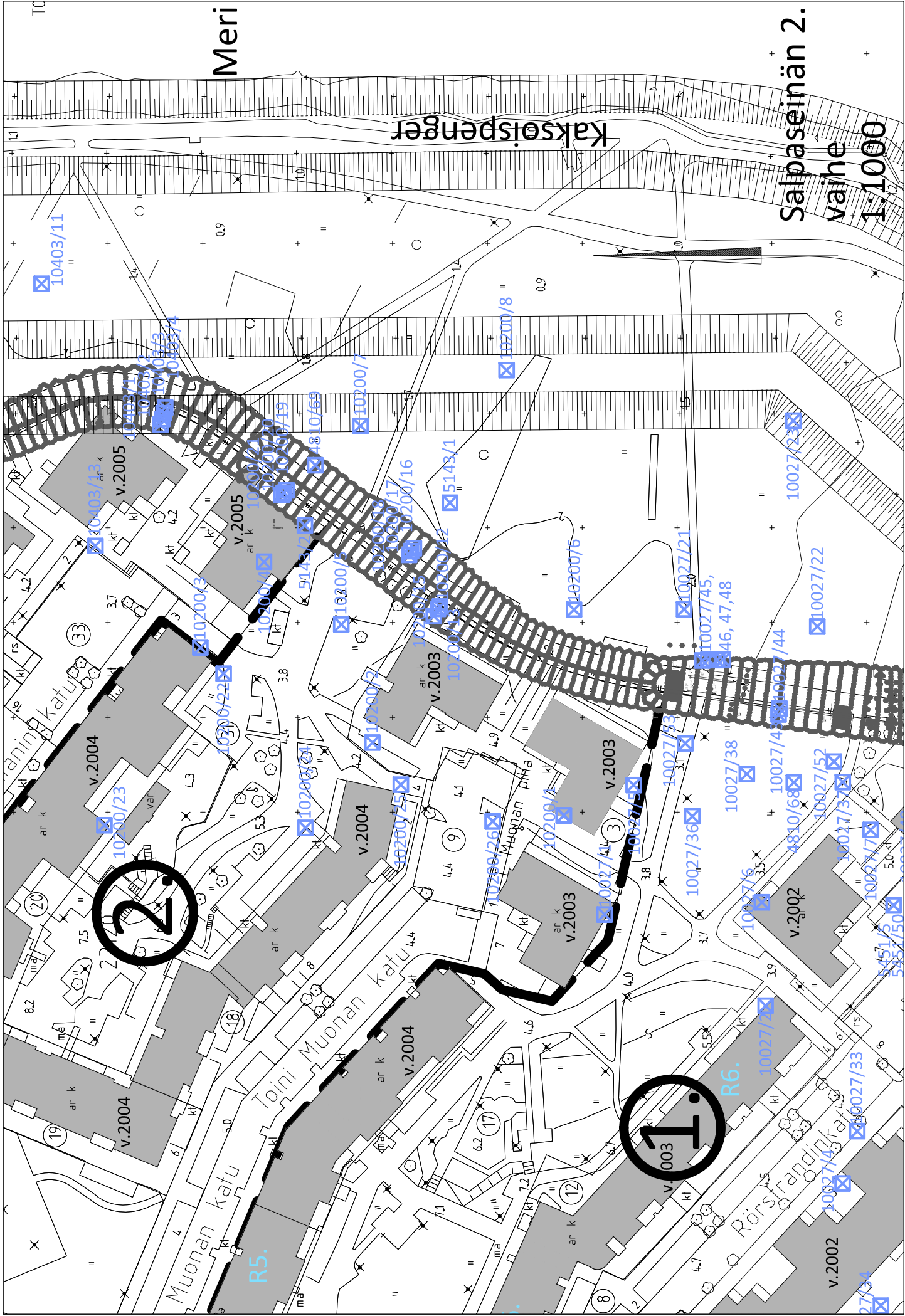
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.
Salpaseinän	10027	1	25498872	6677043	+3.3	12.5	-1.2	-7.7	0.071	369	18.10.2000	—	1.2.2002	13	5.3.2002	225	2.3	49	42	44	53.5	3,4		
mantereen	10027	5	25498899	6677037	+2.5	17.0	-2.0	-10.2	0.402	249	8.11.2000	—	24.7.2001	8	5.3.2002	220	1.5	49	49	69				
puoli	10200	1	25498892	6677052	+1.5	16.5	-1.0	-7.9	0.545	244	15.10.2001	—	16.5.2002	7	5.3.2002	145	-13	65		65	111.5			
	10200	2	25498908	6677092	+1.6	14.5	-2.0	-10.0	0.650	314	15.10.2001	—	30.1.2003	10	5.3.2002	215	-4.9	19	19	19	14.7			
	10200	3	25498928	6677128	+1.6	13.0	-1.5	-7.6	0.262	393	17.10.2001	—	3.1.2002	4	4.3.2003	200	1.6	5		5	23.4			
	10200	4	25498946	6677115	+1.6	16.5	-1.0	-9.4	0.339	377	17.10.2001	—	19.7.2004	13	23.3.2004	200	-4.4	87		87	31.6			
	10200	5	25498933	6677099	+1.0	13.5	-1.5	-9.3	0.325	250	17.10.2001	—	30.1.2003	10	5.3.2002	95	1	47	43	43	33.4			
	10200	22	25498922	6677123	+1.5	12.5	-1.0	-7.5	0.320	80	17.10.2001	—	23.10.2001	2	4.3.2003	210	1.5	4		4	243,5			
	10200	23	25498890	6677149	+1.5	8.0	-1.0	-5.8	0.258	56	17.10.2001	—	30.1.2003	10	4.3.2003	80	0	4		4	3,1			
	10200	24	25498890	6677106	+1.5	11.0	-1.2	-7.8	0.345	131	15.10.2001	—	21.7.2004	12	1.4.2003	55	-5	19	17	17	6,1	0,0	0,3	0,3
	10200	25	25498899	6677086	+1.5	14.0	-1.0	-8.7	0.370	242	15.10.2001	—	30.1.2003	10	1.4.2003	45	1,5	29		21	16,3			
	10200	26	25498891	6677067	+1.5	9.5	-1.0	-6.8	0.215	160	15.10.2001	—	3.1.2002	4	5.3.2002	385	1,5	6		6	27,4			

Salpaseinän	4810	69	25498966	6677104	+2.2	19.0	-2.0	-12.8	0.480	13	3.2.1995	—	25.7.2001	19	23.3.2004	90	-3	86	80	80	12.4			
kohta	5143	2	25498954	6677106	+2.4	16.0	-1.0	-10.8	0.271	124	3.9.1996	—	12.7.2001	13	23.3.2004	40	-3.3	62	62		62	12.8		
	10200	12	25498936	6677078	+1.4	13.5	-2.0	-12.6	0.113	29	15.10.2001	—	3.2.2003	10	5.3.2002	100	1.4	6	4	4	3.1			
	10200	13	25498936	6677078	+1.4	13.5	-2.0	-12.5	0.164	251	15.10.2001	—	31.10.2002	9	5.3.2002	120	1.4	4	3	2.9				
	10200	15	25498934	6677079	+1.4	13.5	-2.0	-12.2	0.038	132	15.10.2001	—	31.10.2002	9	5.3.2002	80	1.4	6	5	4.8				
	10200	16	25498949	6677083	+1.5	14.5	-2.0	-13.0	0.166	264	16.10.2001	—	19.7.2004	12	5.3.2002	50	-7	25	8	25	5.8	12.4	0.6	0.3
	10200	17	25498948	6677084	+1.5	14.5	-2.0	-13.0	0.133	330	16.10.2001	—	19.7.2004	11	5.3.2002	40	-6.3	8	5	8	3.6	2.2	2.2	1.3
	10200	18	25498947	6677084	+1.5	14.5	-2.0	-12.8	0.347	240	16.10.2001	—	21.4.2005	13	5.3.2002	40	-6.5	20	6	20	4.3	6.6	1.1	0.3
	10200	19	25498961	6677110	+1.5	13.5	-1.0	-12.1	0.222	351	16.10.2001	—	28.3.2014	21	23.3.2004	305	1.5	43	39	43	11.4	0.4	0.0	0.0
	10200	20	25498961	6677111	+1.5	13.5	-1.0	-12.0	0.054	366	16.10.2001	—	19.7.2006	15	23.3.2004	100	-0.5	21	19	17	-5.5	1.5	0.9	0.5
	10200	21	25498960	6677111	+1.5	13.5	-1.0	-12.0	0.025	106	16.10.2001	—	19.7.2004	12	23.3.2004	300	1.5	21		21		7.6		

Salpaseinän rannan puoli	5143	1	25498958	6677076	+2.2	17,5	-2,0	-15,2	0,121	68	27.8.1996	—	20.4.2005	21	5.3.2002	90	-4,3	133	80	102	133	16	13,8	14,6	13,2	7,2
	10200	6	25498936	6677049	+1.4	17,0	-2,0	-12,2	0,138	310	15.10.2001	—	30.1.2003	10	5.3.2002	150	-1,1	15	15	15		11,6				
	10200	7	25498975	6677095	+1.4	22,0	-2,0	-14,8	0,356	293	16.10.2001	—	15.5.2002	7	23.3.2004	250	-4,1	5		4		6,9				
	10200	8	25498986	6677064	+1.4	24,5	-2,0	-20,0	0,978	24	16.10.2001	—	15.5.2002	7	5.3.2002	150	-0,5	6		6		10,4				

1. Sijainti
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x
6. Inklinometriputken mittattavan osan pituus
7. Inklinometriputken mittattavan suunta [gon]
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä

* As. Oy Arabianvillat rakennuslupa myönnetty 23.3.2004.
* As. Oy Helsingin Teema rakennuslupa myönnetty 5.3.2002.
Salpaseinän 2. vaihe rakennettu 8/2001 - 10/2001.
R5; Alueella on myös ollut kiinteistön (Klnt. Oy T. Muonan katu 3) omia inkl.putkia, mutta niiden tarkasta sijainnista ei ole varmuutta. Lisäksi havainnointijakson pituus on ollut lyhyt.



3. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinometriputkien mittaukset):

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	
Salpaseinä	4810	70	25498901	6677222	+2.8	11,0	-1,0	-7,1	0,119	146	2.2.1995	—	6.8.2002	15	18.5.2004	90	1,8	92	84	92	11,3	81,2			
mantereen	10403	13	25498949	6677150	+1.6	10,0	-2,2	-9,8	0,058	310	8.10.2002	—	26.3.2014	14	23.3.2004	40	1,6	61	50	60	20,4	1,1	0,5		
puoli	10403	14	25498944	6677198	+1.6	6,5	-1,0	-5,5	0,046	37	8.10.2002	—	26.3.2014	17	23.3.2004	200	1,6	105	74	80	30,1	0,7	0,1		
	10403	15	25498938	6677230	+1.5	8,5	-1,0	-8,2	0,198	63	7.10.2002	—	18.4.2005	9	18.5.2004	15	0	21	9		3,6				
	10403	16	25498962	6677247	+1.1	19,5	-2,0	-12,7	0,405	328	7.10.2002	—	22.5.2003	3	18.5.2004	400	-7,4	59	59		94,9				
	10403	17	25498963	6677274	+1.5	17,5	-2,0	-13,6	0,168	79	7.10.2002	—	17.6.2004	5	15.6.2004	60	1,5	53		53	31,3				
	10403	18	25498915	6677262	+1.4	11,5	-1,6	-8,7	0,86	17	7.10.2002	—	30.10.2003	4	19.8.2003	60	1,4	28		28	26,4				
	10592	1	25498969	6677238	+1.7	14,0	-2,0	-11,6	0,022	350	15.10.2004	—	2.1.2014	11	18.5.2004	255	-7,3	7	3,8	6		0,3	0,0	0,2	
	10592	3	25498950	6677246	+1.6	17,0	-2,0	-11,8	0,282	228	15.10.2004	—	2.1.2014	11	18.5.2004	165	-6,9	42	13	41		3,3	3,1	2,8	
	10597	1	25498978	6677267	+1.5	20,0	-2,0	-13,8	0,247	140	15.10.2004	—	2.1.2014	12	15.6.2004	15	-8,5	22	13	21		12,0	0,9	0,9	
	10597	3	25498960	6677275	+1.7	17,0	-2,0	-13,7	0,132	320	15.10.2004	—	3.1.2014	12	15.6.2004	75	-7,3	26	9	26		13,5	2,0	1,9	1,6
	10629	2	25498976	6677271	+1.0	16,5	-2,0	-13,4	0,015	122	19.1.2004	—	21.1.2004	2	15.6.2004	160	1	3		3		547,9			

Salpaseinän kohta	4809	631	25498981	6677259	+2.1	18,5	-2,0	-14,4	0,446	338	21.9.1995	—	20.11.2001	31	15.6.2004	90	-2,4	99	91		91	14,8			
	4809	632	25498989	6677279	+2.2	17,0	-2,0	-12,5	0,226	175	21.9.1995	—	20.11.2001	31	15.6.2004	185	-2,8	53	53		53	8,6			
	4809	651	25498974	6677240	+2.2	17,5	-2,0	-12,7	0,124	148	21.9.1995	—	20.11.2001	29	18.5.2004	5	-3,8	248	248		248	40,2			
	4809	652	25498966	6677220	+2.2	8,5	-1,2	-8,0	0,052	86	21.9.1995	—	20.11.2001	28	18.5.2004	210	-2,8	148	148		148	21,8			
	4810	611	25498978	6677249	+2.4	19,5	-2,0	-14,5	0,496	316	13.9.1994	—	20.11.2001	39	18.5.2004	25	1,4	124	111		111	15,4			
	10403	1	25498975	6677137	+1.1	13,5	-2,0	-11,7	0,218	306	5.8.2002	—	14.6.2007	10	23.3.2004	135	1,1	8	7	8		2,6	0,4	0,4	0,1
	10403	2	25498976	6677136	+1.1	13,5	-2,0	-11,7	0,189	236	5.8.2002	—	14.6.2007	10	23.3.2004	225	1,1	21	15	21		5,7	2,7	0,1	0,3
	10403	3	25498977	6677136	+1.1	14,0	-2,0	-11,8	0,202	45	5.8.2002	—	26.3.2014	16	23.3.2004	10	1,1	22	20	17		-7,6	0,3	0,3	0,2
	10403	4	25498978	6677136	+1.1	14,0	-2,0	-11,8	0,140	271	5.8.2002	—	26.3.2014	16	23.2.2004	210	1,1	14	11	12		4,2	0,1	0,1	0,0
	10403	5	25498966	6677207	+0.9	8,5	-1,0	-6,5	0,173	217	7.8.2002	—	27.3.2014	17	23.3.2004	300	0,9	27	14	25		5,3	1,2	0,1	
	10403	6	25498967	6677208	+0.9	9,0	-1,0	-6,9	0,186	247	7.8.2002	—	27.3.2014	17	18.5.2004	145	0,9	7	5	6		1,8	0,1	0,1	
	10403	7	25498969	6677208	+0.9	9,0	-1,0	-7,2	0,250	214	7.8.2002	—	20.7.2006	9	18.5.2004	360	0,9	61	57	61		20,5	3,4	0,9	
	10403	9	25498988	6677251	+1.3	16,5	-1,8	-15,2	0,081	15	10.10.2002	—	18.10.2007	10	15.6.2004	95	-1,2	13	12	10		-4,5	0,9	0,9	0,2
	10403	10	25498990	6677251	+1.3	17,0	-1,8	-15,2	0,245	28	7.10.2002	—	11.6.2007	10	15.6.2004	110	-0,7	18	18	16		-6,7	1,0	0,3	0,2
	10629	1	25498978	6677230	+0.9	14,0	-1,6	-13,3	0,054	209	19.1.2004	—	28.3.2014	16	18.5.2004	135	0,9	14	9	12		6,8	0,3	0,1	0,0

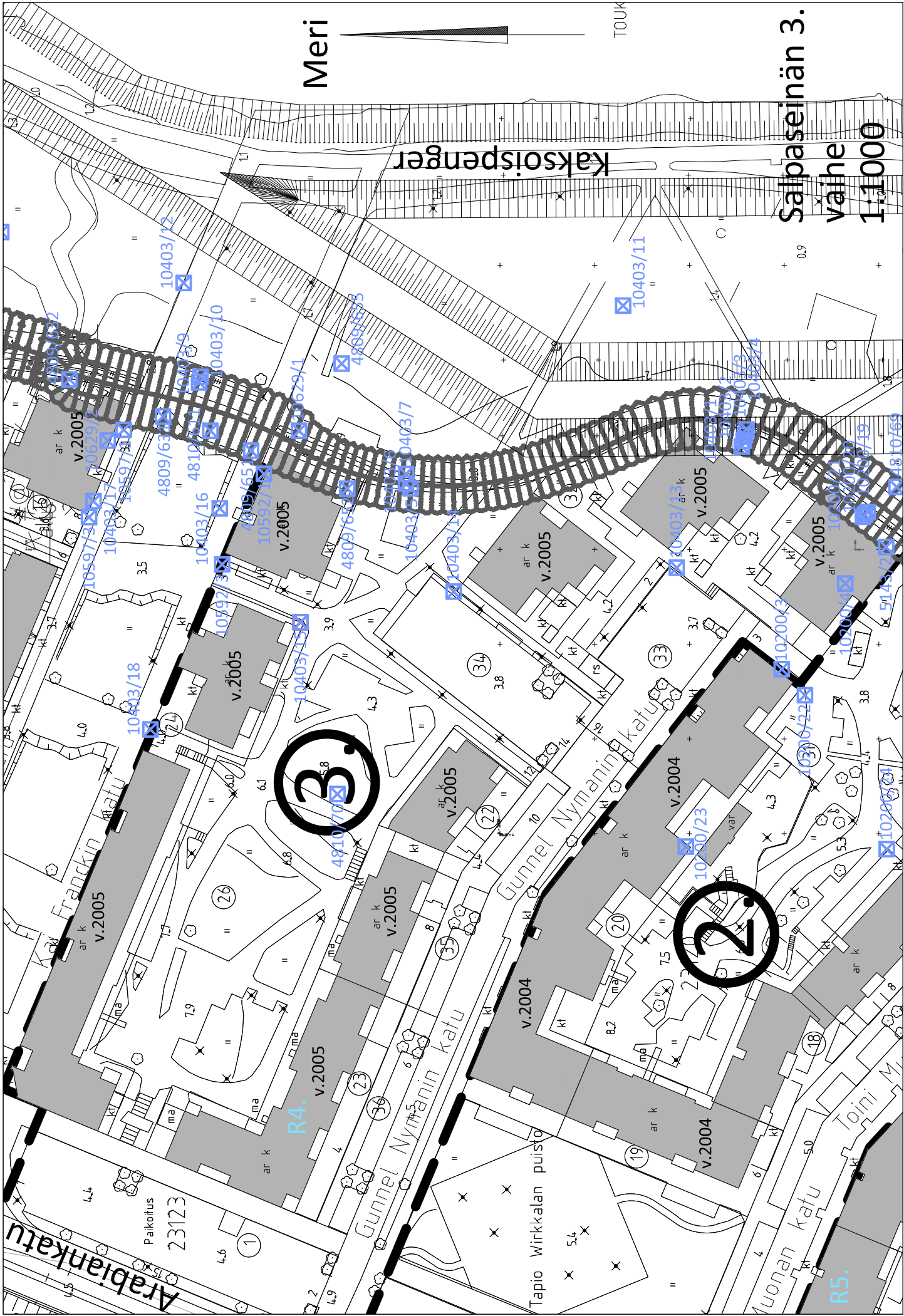
Salpaseinän rannan puoli	4809	655	25498992	6677221	+2.0	18,0	-1,6	-13,8	0,442	135	27.9.1995	—	16.7.2002	30	18.5.2004	105	-3,5	134	119		118	17,6	-24,4		
	10403	11	25499005	6677162	+1.0	19,0	-2,0	-13,4	0,029	209	8.10.2002	—	14.6.2007	8	23.3.2004	110	-5,5	43	18	43		7,3	11,2	10,7	5,8
	10403	12	25499009	6677255	+1.2	21,3	-1,8	-14,2	0,494	114	7.10.2002	—	11.6.2007	10	15.6.2004	100	-3,3	52	19	52		7,1	16,6	16,2	0,6

- Sijainti
- Työ nro.
- Piste nro.
- Koordinaatti y
- Koordinaatti x
- Inklinometriputken yläpään taso
- Inklinometriputken mitattavan osan pituus
- Täytön alapinnan taso
- Savikerroksen alapinnan taso
- Putken asennusviivous [m]
- Putken asennusviivouden suunta [gon]
- Havaintojen ajankohta
- Havaintojen lukumäärä

* As. Oy Arabianvillat rakennuslupa myönnetty 23.3.2004.
* As. Oy Villa Arabia rakennuslupa myönnetty 18.5.2004.
Salpaseinän 3. vaihe rakennettu 7/2002 - 10/2002.
R4: Alueella on myös ollut kiinteistön (Kliint. Oy G. Nymänin katu 4) omia inkl.putkia, mutta niiden tarkasta sijainnista ei ole varmuutta. Lisäksi havainnointijakson pituus on ollut lyhyt.

- Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
- Siirtymän pääsuunta [gon]
- Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
- Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
- Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
- Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
- Vaakasiiirtymä, paalutustyon jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvan myöntämisestä) [mm]
- Vaakasiiirtymänopeus, rakennustöiden (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
- Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyon jälkeen [mm/vuosi]
- Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
- Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

* As. Oy Villa Kine rakennuslupa myönnetty 15.6.2004.
* As. Oy Kotiranta rakennuslupa myönnetty 19.8.2003.
ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.
ko. inklinometriputken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.



4. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inklinoimetriputkien mittaukset):

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	
Salpaseinän	4810	711	25498898	6677325	+4.0	9.0	-1.8	-6.0	0.169	194	27.10.1994	—	28.10.2003	24	29.6.2004	70	3	34	34	3	34	3,8			
mantereen	10612	1	25498862	6677334	+0.5	5.5	-1.5	-5.8	0,021	138	20.8.2004	—	8.1.2014	16	10.5.2005	50	-2	6	3	6		1,7	0,4	0,0	
puoli	10722	2	25498977	6677311	+1.1	14.5	-1.5	-12.1	0,427	379	27.5.2004	—	25.3.2014	16	15.6.2004	100	-8	49	30	48		28,5	2,1	0,5	2,1
	10722	3	25498928	6677332	+2.1	15.5	-1.2	-8,3	0,115	221	27.5.2004	—	17.6.2004	3	23.6.2006	275	2,1	8		8		139,1			
												*													
Salpaseinän	10722	5	25498997	6677317	+1.2	11.0	-1.4	-11.5	0,044	222	5.7.2004	—	25.3.2014	14	23.6.2006	60	1,2	12	12	11		-4,0	0,1	0,1	0,0
kohta	10722	6	25498998	6677317	+1.3	11.0	-1.4	-11.5	0,157	116	5.7.2004	—	25.3.2014	14	23.6.2006	30	1,3	9	8	7		-2,7	0,1	0,1	0,0
	10722	7	25498999	6677317	+1.4	8.5	-1.4	-11.5	0,059	297	5.7.2004	—	8.6.2006	5	23.6.2006	250	-1	15	15			7,8			
	10722	8	25499001	6677340	+2.0	11.0	-1.5	-12.2	0,157	215	14.7.2004	—	7.6.2007	6	23.6.2006	180	2	14	14			4,8			
	10722	9	25499002	6677340	+1.9	11.0	-1.5	-12.2	0,817	100	14.7.2004	—	24.3.2014	13	23.6.2006	325	-0	24	23	9		-7,8	2,1	1,4	
	10722	10	25499003	6677340	+1.8	11.0	-1.5	-12.2	0,077	284	14.7.2004	—	24.3.2014	13	23.6.2006	160	1,8	21	19	21		6,5	0,3	0,0	
	10722	11	25499005	6677341	+1.8	11.0	-1.5	-12.2	0,173	150	14.7.2004	—	24.3.2014	10	23.6.2006	190	1,8	53	33	52		11,2	2,8	0,2	
	10722	40	25498996	6677317	+1.1	11.0	-1.4	-11.5	0,103	202	5.7.2004	—	3.6.2008	8	23.6.2006	275	1,1	11	11	11		3,8			***

Salpaseinän	10722	1	25499020	6677293	+0.9	13,5	-1,2	-12,9	0,373	51	27.5.2004	—	25.3.2014	12	15.6.2004	100	-4	81	21	81		20,0	6,8	6,3	0,1
rannan puoli																									

1. Sijainti
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x

6. Inklinoimetriputken yläpään taso
7. Inklinoimetriputken mitattavan osan pituus
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä

* Opiskelija-asuintalo Kylierinranta rakennuslupa myönnetty 29.6.2004.
* As. Oy Birger Kaipalaisenpiha rakennuslupa myönnetty 23.6.2006.

Salpaseinän 4. vaihe rakennettu 5/2004 - 9/2004.

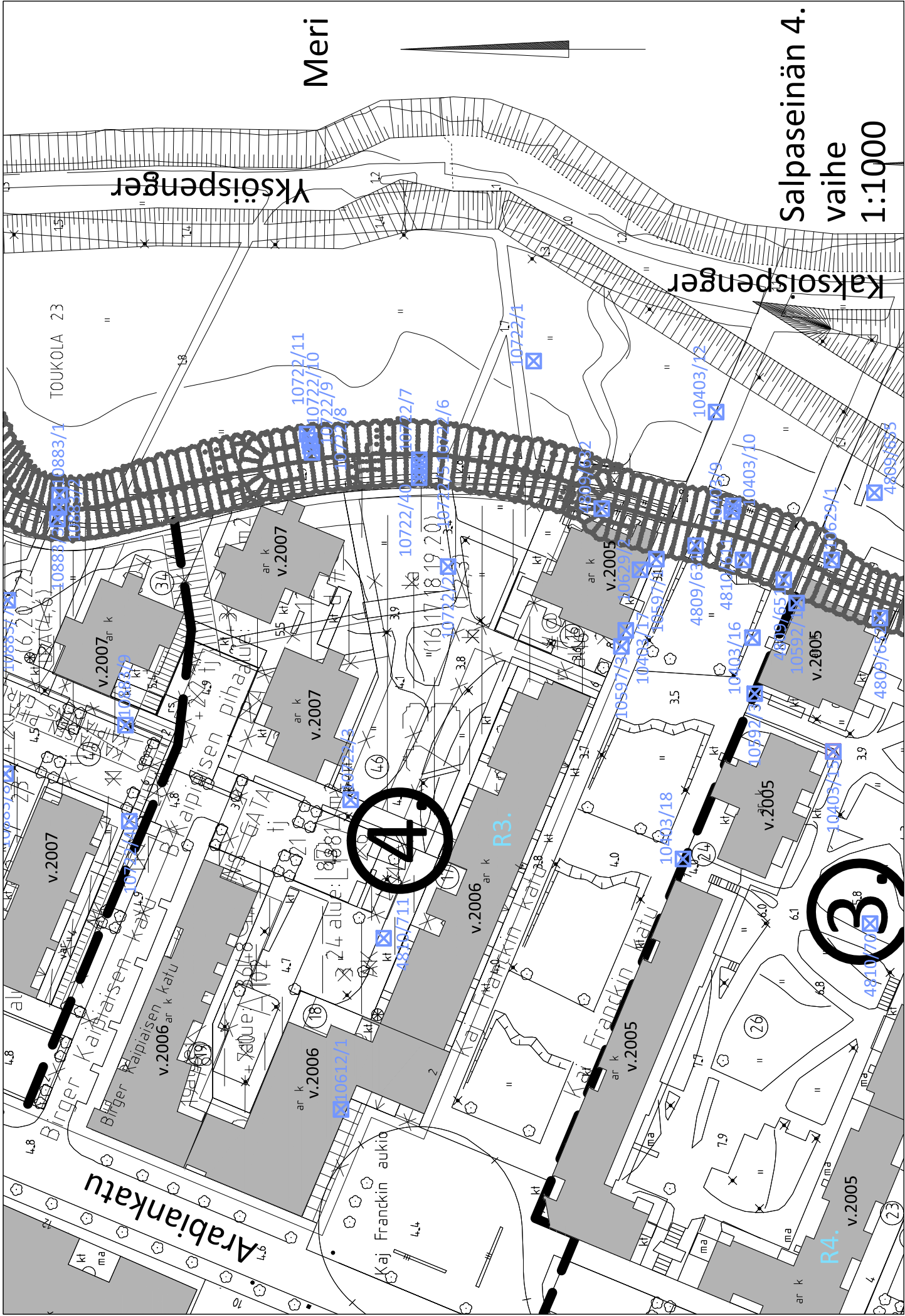
ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.

ko. inklinoimetriputken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.

R3: Alueella on myös ollut kiinteistön (Klnt. Oy Kylierinranta) omia inkl.putkia, mutta niiden tarkasta sijainnista ei ole varmuutta. Lisäksi havainnointijakson pituus on ollut lyhyt.

14. Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
15. Siirtymän pääsuunta [gon]
16. Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
17. Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
18. Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
19. Vaakasiiirtymä, paalutustyön jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvan myöntämisestä) [mm]
20. Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
21. Vaakasiiirtymänopeus, ennen salpaseinän rakentamista [mm/vuosi]
22. Vaakasiiirtymänopeus, rakennustöiden (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
23. Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyön jälkeen [mm/vuosi]
24. Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
25. Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

* As. Oy Villa Kine rakennuslupa myönnetty 15.6.2004.
* Helsingin MS-talo rakennuslupa myönnetty 10.5.2005.
** 10722/2 Havaittu mittausvirhe 7.6.2007.
*** 10722/40 Havaittu mahdollinen mittausvirhe 3.6.2008.
Virheet on poistettu tuloksista.



6. Alueen sivusiirtymämittaustulokset (inclinometripunktien mittaukset):

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	
43	4810	72	25499010	6677534	+4.2	24.7	-1.0	-17.2	0.131	237	31.1.1995	—	1.10.2008	27	19.1.2010	125	3.2	206	68	206	6,3	48,7			
83	4810	811	25498980	6677499	+4.5	17.5	-2.0	-17.7	0.635	119	16.9.1994	—	23.3.2005	27	19.12.2006	80	0	84	84	84	8,0				
190	11038	1	25498857	6677531	+2.2	19.5	-1.0	-10.0	1.225	19	30.3.2006	—	11.1.2008	7	3.4.2007	175	0,7	65		61		34,2			
50	11038	4	25499013	6677495	+2.6	26.5	-1.0	-18.7	1.203	112	31.3.2006	—	10.7.2008	8	19.12.2006	80	-0.4	55	55	51		-32,0	7,2	4,1	1,1
80	11038	8	25498964	6677561	+3.2	23.0	-1.7	-13.5	1.364	276	30.3.2006	—	7.6.2010	11	19.1.2010	220	3,2	133	109	109		26,0			
25	11038	10	25499017	6677553	+2.5	27.0	-1.0	-17.1	0.279	78	31.3.2006	—	26.2.2014	16	19.1.2010	55	2,5	242	160	169	33,3	2,9	1,6	1,9	
67	11038	51	25498993	6677519	+0.6	23.0	-1.8	-17.3	0.411	192	26.6.2006	—	25.2.2014	19	19.1.2010	150	0,6	37	30	31	6,6	0,3	0,4	0,7	
49	11038	52	25498993	6677582	+2.5	27.0	-1.0	-15.7	0.775	84	26.6.2006	—	10.6.2010	10	19.1.2010	90	2,5	304	236		59,7				
152	11038	58	25498891	6677561	+3.4	17.0	-1.0	-10.0	0.578	257	2.3.2007	—	25.2.2014	11	3.4.2007	125	3,4	18	14	18	12,9	0,8			**

1. Etäisyys rannasta [m]
2. Työ nro.
3. Piste nro.
4. Koordinaatti y
5. Koordinaatti x
6. Inklinometriputken vääpään taso
7. Inklinometriputken mitattavan osan pituus
8. Täytön alapinnan taso
9. Savikerroksen alapinnan taso
10. Putken asennusvinous [m]
11. Putken asennusvinouden suunta [gon]
12. Havaintojen ajankohta
13. Havaintojen lukumäärä
14. Lähimmän rakennuksen rak. lupa myönnetty
15. Siirtymän pääsuunta [gon]
16. Suurimman siirtymän taso (havaintojakson loppupäässä)
17. Vaakasiiirtymä, suurin mitattu arvo [mm]
18. Vaakasiiirtymä, ennen salpaseinän rakentamista [mm]
19. Vaakasiiirtymä, paalutustyön jälkeinen arvo (n. 1 vuosi rakennusluvan myöntämisestä) [mm]
20. Vaakasiiirtymä, viimeisin mittausarvo [mm]
21. Vaakasiiirtymä, rakentamista [mm/vuosi]
22. Vaakasiiirtymänopeus, ennen salpaseinän rakennusta (salpaseinän rakennus ja paalutus) välisenä aikana [mm/vuosi]
23. Vaakasiiirtymänopeus, paalutustyön jälkeen [mm/vuosi]
24. Tason Z = -5, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]
25. Tason Z = -10, Vaakasiiirtymänopeus, paalutustöiden jälkeen [mm/vuosi]

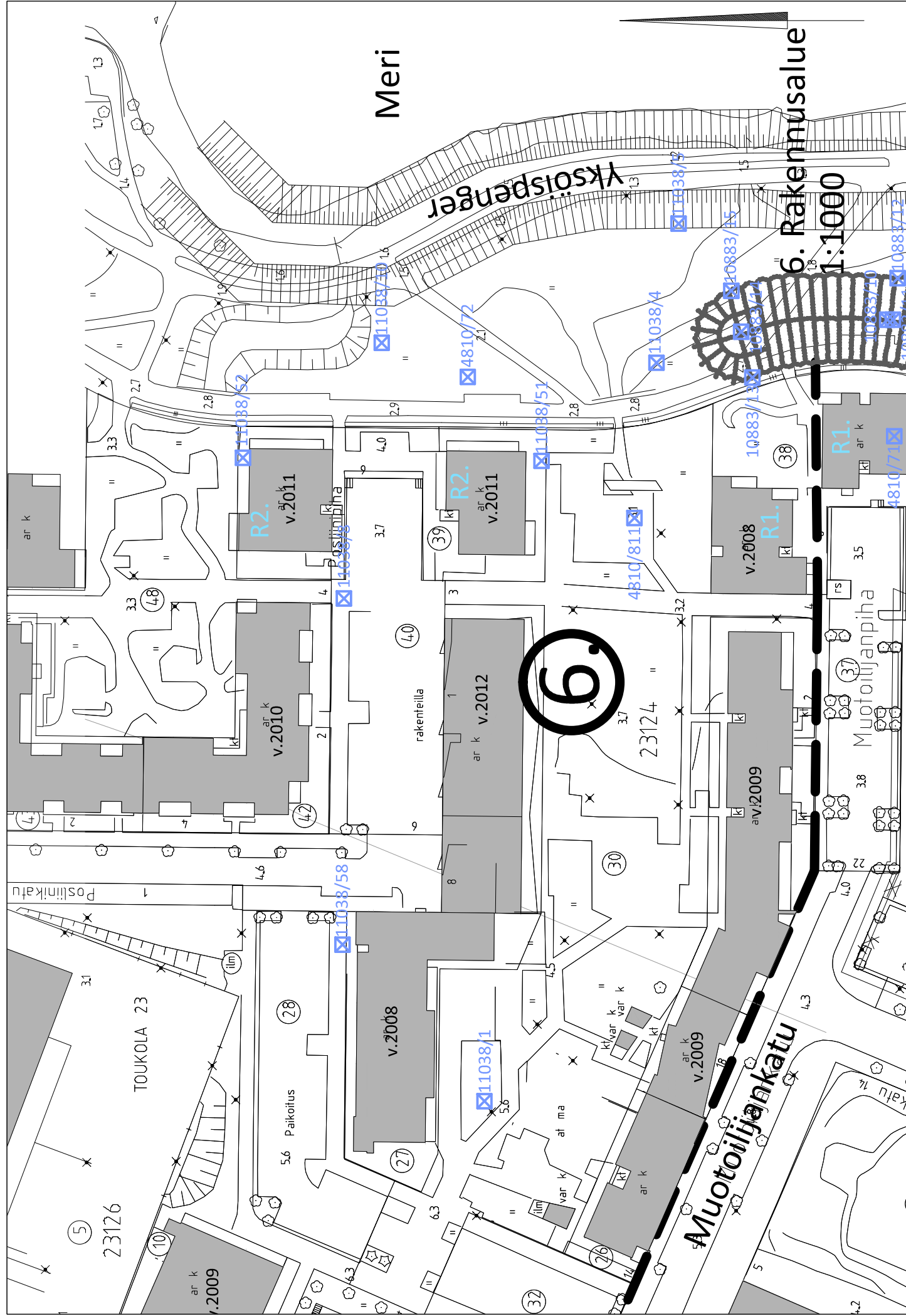
* As. Oy Helsingin Kaislat rakennuslupa myönnetty 19.12.2006.

* As. Oy Helsingin Tila rakennuslupa myönnetty 3.4.2007.

Salpaseinän 5. vaihe rakennettu 5/2005 - 11/2005.

Alueella 6 ei ole salpaseiniä.

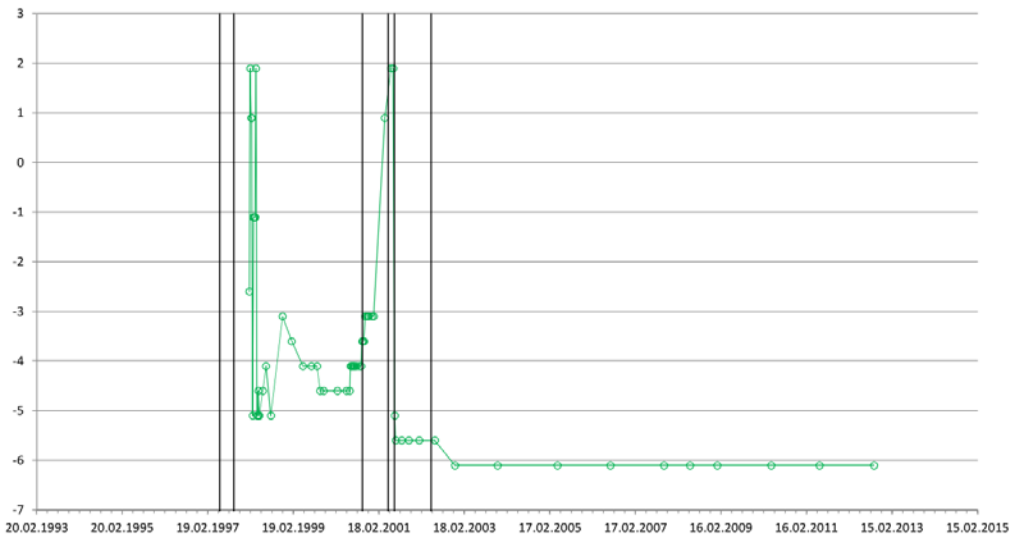
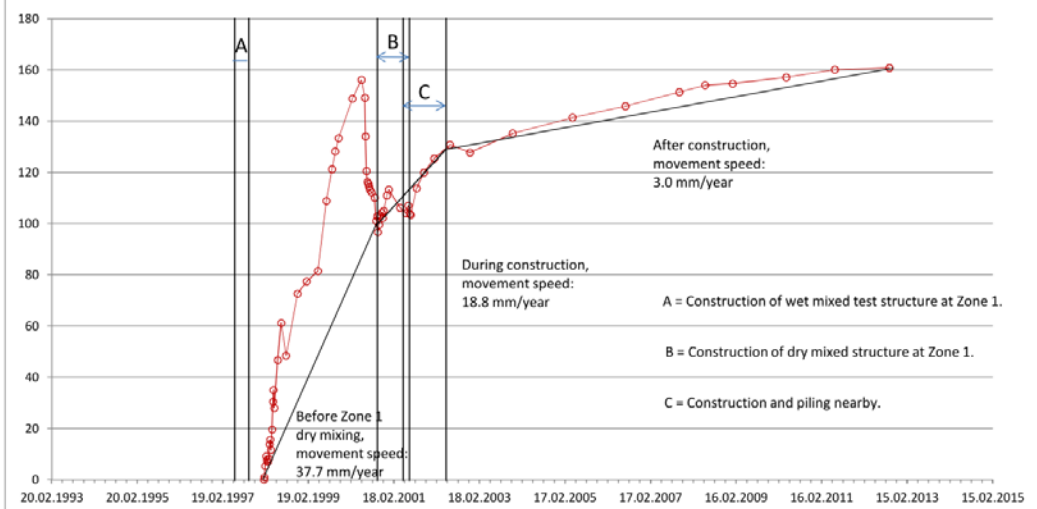
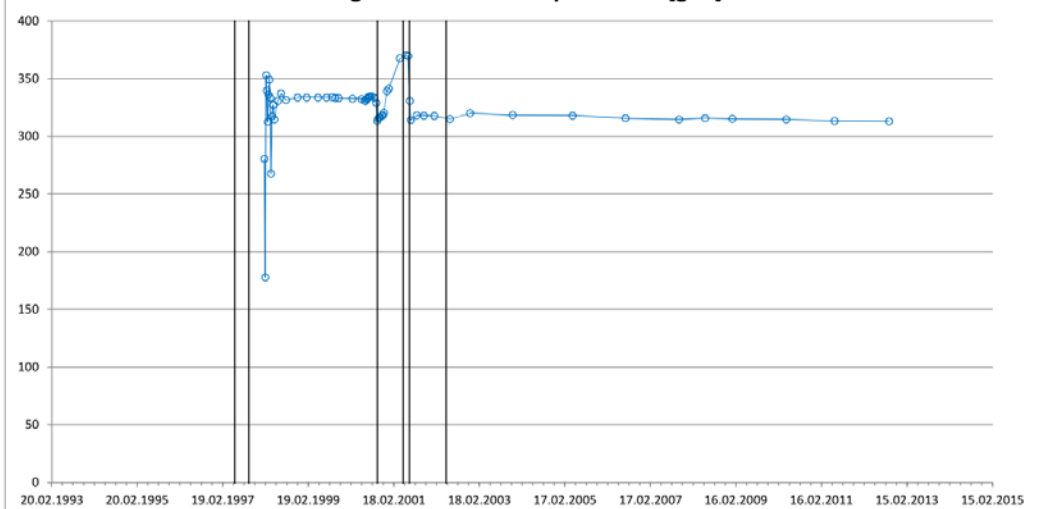
	ko. ajankohtana ei ole tehty mittauksia.
	ko. inklinometritupken sivusiirtymäkuvaajat esitetty liitteessä 2.



Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
04.02.1998	0		
09.02.1998	1 280	-2,6	
16.02.1998	5 178	1,9	
23.02.1998	9 353	0,9	
02.03.1998	8 340	0,9	
10.03.1998	7 313	-5,1	
16.03.1998	8 336	-1,1	
24.03.1998	14 349	-1,1	
30.03.1998	16 334	-1,1	
06.04.1998	12 268	1,9	
15.04.1998	20 318	-5,1	
23.04.1998	30 327	-5,1	
27.04.1998	35 327	-4,6	
04.05.1998	28 315	-5,1	
03.06.1998	47 331	-4,6	
01.07.1998	61 337	-4,1	
12.08.1998	49 332	-5,1	
18.11.1998	73 334	-3,1	
05.02.1999	77 334	-3,6	
11.05.1999	82 334	-4,1	
23.07.1999	109 334	-4,1	
08.09.1999	121 334	-4,1	
06.10.1999	128 334	-4,6	
03.11.1999	133 333	-4,6	
29.02.2000	149 333	-4,6	
17.05.2000	156 333	-4,6	
14.06.2000	149 331	-4,6	
21.06.2000	134 331	-4,1	
29.06.2000	121 332	-4,1	
06.07.2000	116 333	-4,1	
14.07.2000	116 334	-4,1	
20.07.2000	114 335	-4,1	
28.07.2000	113 334	-4,1	
10.08.2000	112 335	-4,1	
05.09.2000	110 334	-4,1	
20.09.2000	101 329	-4,1	
27.09.2000	103 313	-3,6	
04.10.2000	97 315	-3,6	
13.10.2000	100 316	-3,6	
23.10.2000	103 317	-3,1	
07.11.2000	104 318	-3,1	
14.11.2000	102 318	-3,1	
22.11.2000	105 320	-3,1	
20.12.2000	111 339	-3,1	
04.01.2001	113 341	-3,1	
10.04.2001	106 368	0,9	
31.05.2001	104 370	1,9	
19.06.2001	107 370	1,9	
04.07.2001	104 331	-5,1	
11.07.2001	103 314	-5,6	
30.08.2001	114 318	-5,6	
31.10.2001	120 318	-5,6	
28.01.2002	125 318	-5,6	
11.06.2002	131 315	-5,6	
28.11.2002	128 320	-6,1	
28.11.2003	135 319	-6,1	
21.04.2005	141 318	-6,1	
18.07.2006	146 316	-6,1	
19.10.2007	151 315	-6,1	
27.05.2008	154 316	-6,1	
16.01.2009	155 315	-6,1	
19.04.2010	157 315	-6,1	
07.06.2011	160 313	-6,1	
14.09.2012	161 313	-6,1	

Angle directions [gon]:

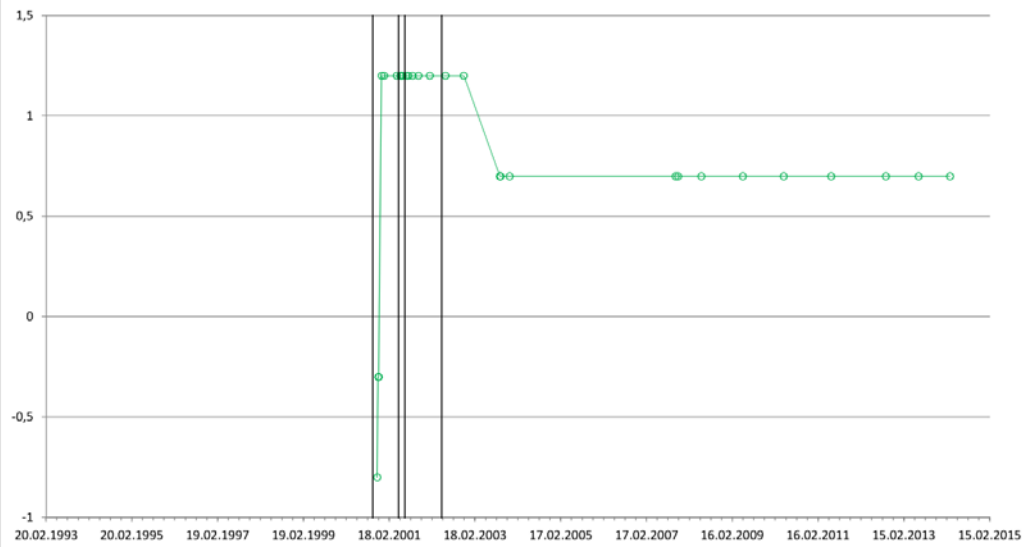
North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

Level of maximum horizontal displacement**Maximum horizontal displacement [mm]****Angle of horizontal displacement [gon]**

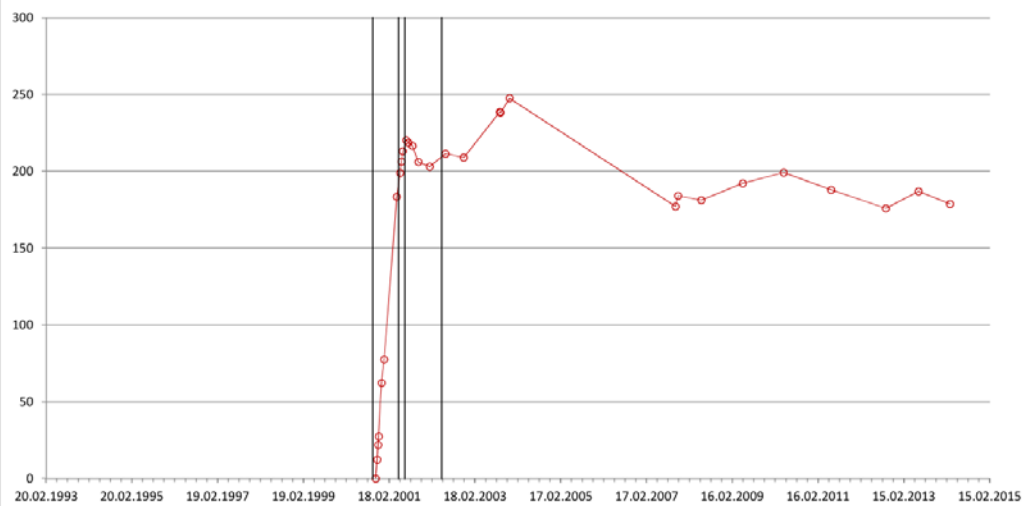
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
25.10.2000	0		
07.11.2000	12	33	-0,8
14.11.2000	22	61	-0,3
21.11.2000	27	54	-0,3
14.12.2000	62	67	1,2
04.01.2001	77	71	1,2
23.04.2001	183	58	1,2
22.05.2001	199	58	1,2
31.05.2001	206	52	1,2
13.06.2001	213	56	1,2
10.07.2001	220	57	1,2
31.07.2001	219	65	1,2
03.09.2001	217	66	1,2
24.10.2001	206	62	1,2
28.01.2002	203	60	1,2
10.06.2002	212	62	1,2
14.11.2002	209	59	1,2
16.09.2003	239	37	0,7
23.09.2003	238	36	0,7
09.12.2003	248	35	0,7
22.10.2007	177	43	0,7
12.11.2007	184	42	0,7
27.05.2008	181	41	0,7
14.05.2009	192	41	0,7
27.04.2010	199	41	0,7
06.06.2011	188	47	0,7
14.09.2012	176	39	0,7
19.06.2013	187	44	0,7
12.03.2014	179	42	0,7

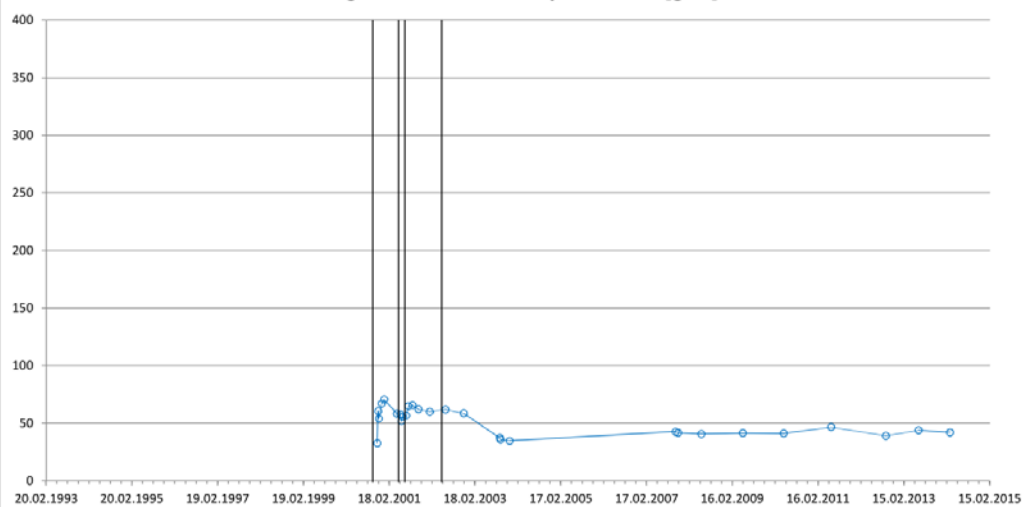
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]



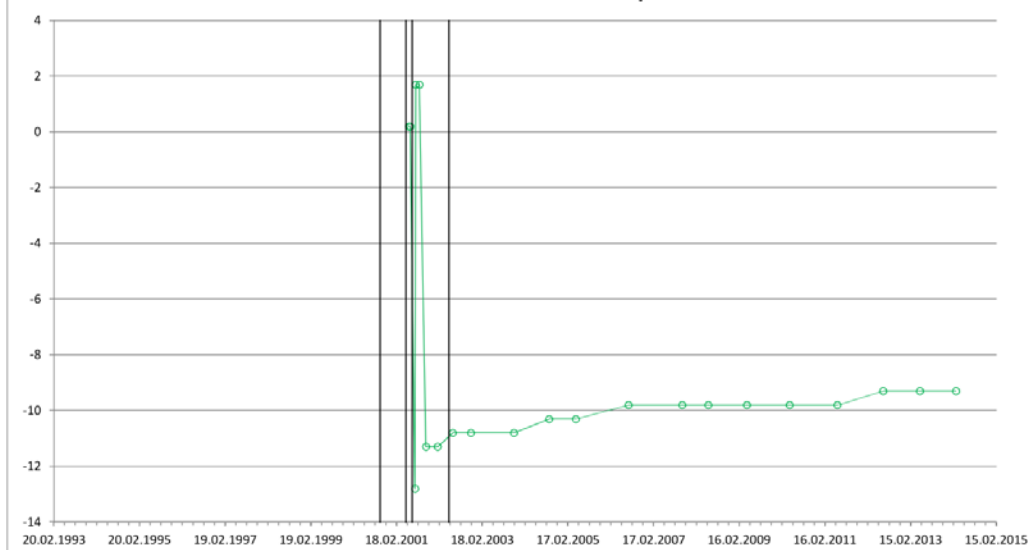
Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

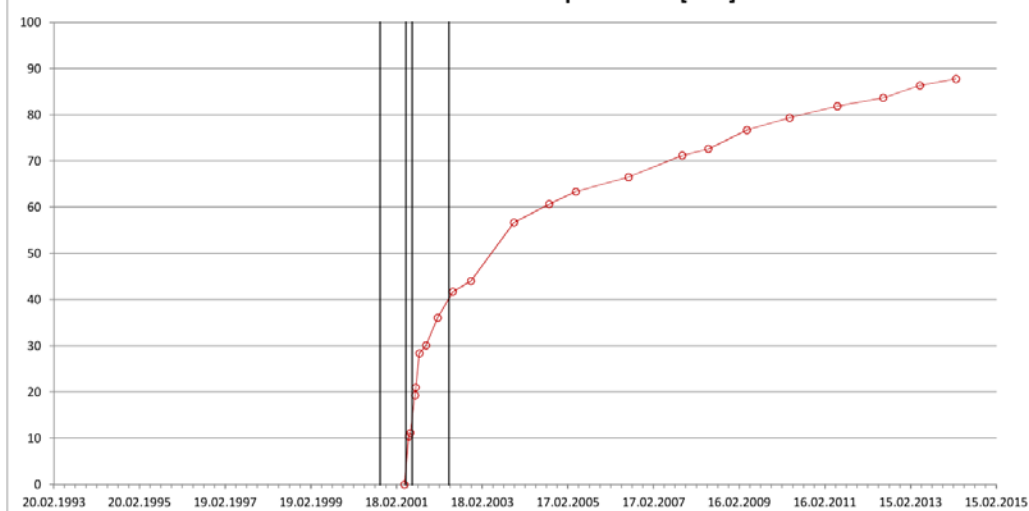
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
26.04.2001	0		
31.05.2001	10	244	0,2
14.06.2001	11	246	0,2
25.07.2001	19	109	-13
31.07.2001	21	65	1,7
31.08.2001	28	71	1,7
25.10.2001	30	110	-11
01.02.2002	36	108	-11
12.06.2002	42	110	-11
12.11.2002	44	104	-11
14.11.2003	57	103	-11
10.09.2004	61	102	-10
25.04.2005	63	100	-10
18.07.2006	67	98	-9,8
19.10.2007	71	97	-9,8
27.05.2008	73	97	-9,8
20.04.2009	77	97	-9,8
19.04.2010	79	96	-9,8
31.05.2011	82	97	-9,8
25.06.2012	84	96	-9,3
03.05.2013	86	95	-9,3
07.03.2014	88	95	-9,3

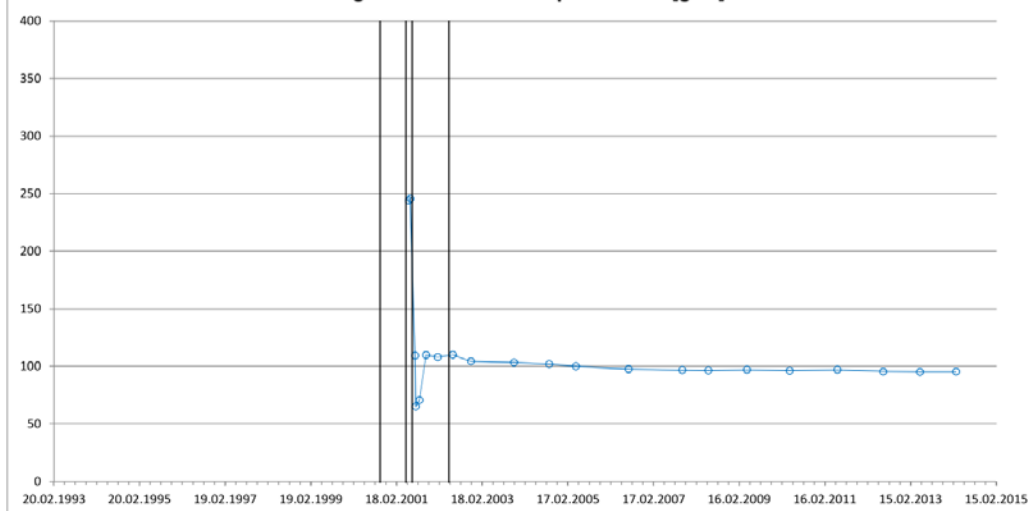
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400

East = 100

South = 200

West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

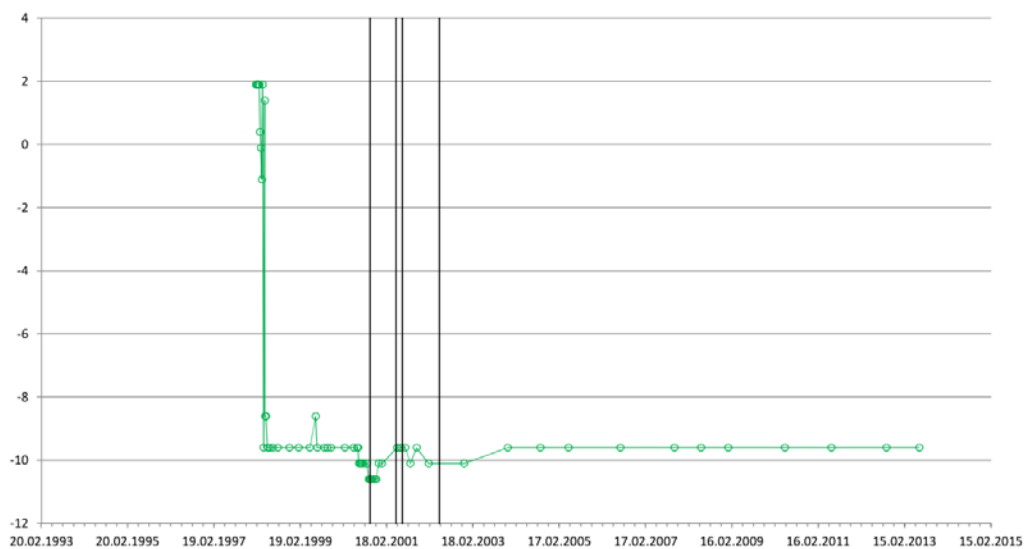
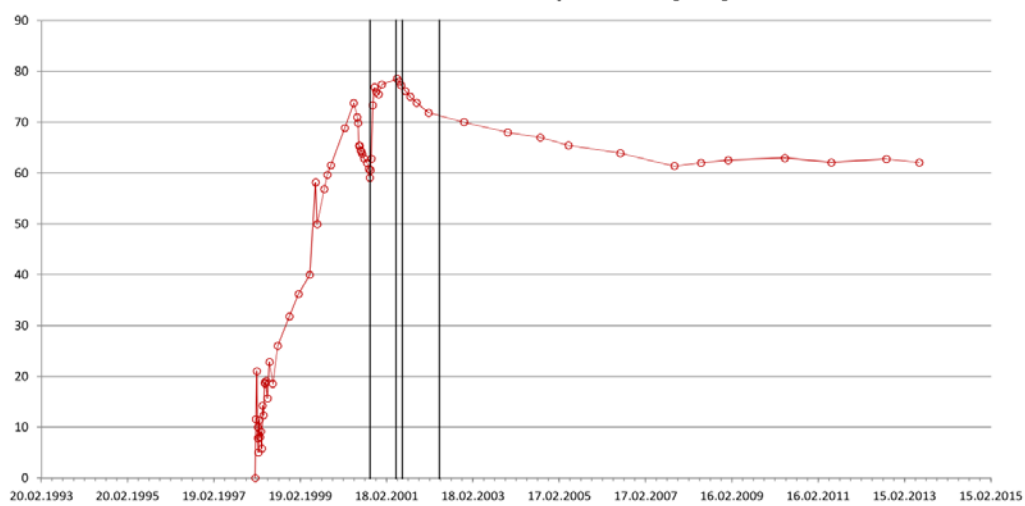
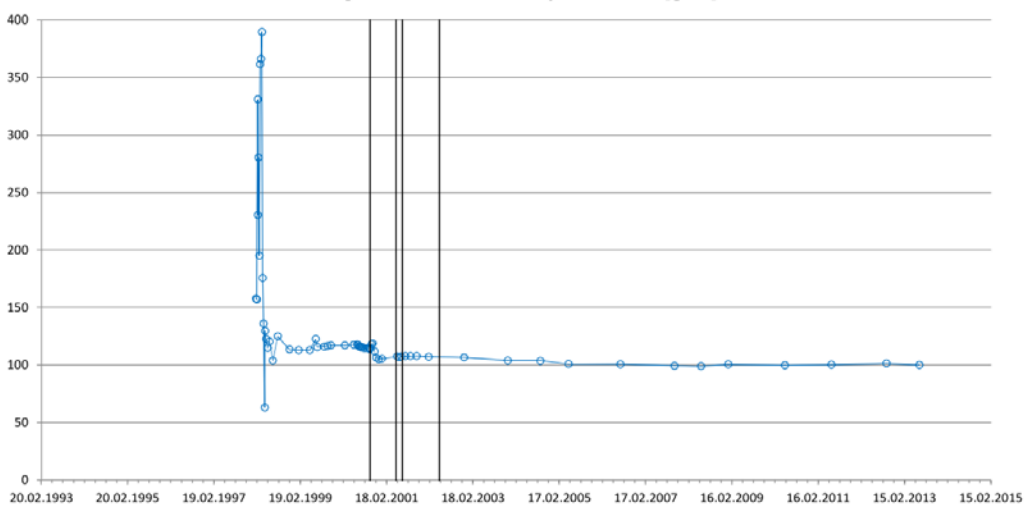
2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of horizontal displacement
03.02.1998	0		
09.02.1998	12 158	1,9	
16.02.1998	21 157	1,9	
23.02.1998	10 331	1,9	
25.02.1998	8 230	1,9	
02.03.1998	5 280	1,9	
09.03.1998	11 195	1,9	
16.03.1998	8 362	0,4	
23.03.1998	9 366	-0,1	
30.03.1998	6 390	-1,1	
06.04.1998	14 176	1,9	
14.04.1998	12 136	-9,6	
23.04.1998	19 63	1,4	
27.04.1998	19 130	-8,6	
04.05.1998	19 123	-8,6	
18.05.1998	16 115	-9,6	
03.06.1998	23 120	-9,6	
01.07.1998	19 104	-9,6	
11.08.1998	26 125	-9,6	
18.11.1998	32 114	-9,6	
03.02.1999	36 113	-9,6	
10.05.1999	40 113	-9,6	
28.06.1999	58 123	-8,6	
12.07.1999	50 116	-9,6	
08.09.1999	57 116	-9,6	
06.10.1999	60 117	-9,6	
03.11.1999	62 117	-9,6	
29.02.2000	69 117	-9,6	
16.05.2000	74 118	-9,6	
14.06.2000	71 118	-9,6	
20.06.2000	70 117	-9,6	
29.06.2000	65 116	-10	
05.07.2000	65 116	-10	
12.07.2000	64 116	-10	
19.07.2000	64 115	-10	
27.07.2000	64 115	-10	
10.08.2000	63 115	-10	
05.09.2000	62 115	-10	
20.09.2000	61 115	-11	
27.09.2000	59 114	-11	
04.10.2000	61 115	-11	
12.10.2000	63 118	-11	
23.10.2000	73 119	-11	
06.11.2000	77 112	-11	
20.11.2000	76 107	-11	
12.12.2000	76 105	-10	
09.01.2001	77 106	-10	
15.05.2001	79 107	-9,6	
05.06.2001	78 107	-9,6	
19.06.2001	77 107	-9,6	
26.07.2001	76 108	-9,6	
05.09.2001	75 108	-10	
29.10.2001	74 108	-9,6	
07.02.2002	72 107	-10	
04.12.2002	70 107	-10	
08.12.2003	68 104	-9,6	
09.09.2004	67 104	-9,6	
04.05.2005	65 101	-9,6	
19.07.2006	64 101	-9,6	
18.10.2007	61 99	-9,6	
29.05.2008	62 99	-9,6	
14.01.2009	63 101	-9,6	
10.05.2010	63 100	-9,6	
07.06.2011	62 100	-9,6	
13.09.2012	63 101	-9,6	
18.06.2013	62 100	-9,6	

Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

Level of maximum horizontal displacement**Maximum horizontal displacement [mm]****Angle of horizontal displacement [gon]**

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
03.02.1998	0		
09.02.1998	9 156	2,8	
16.02.1998	22 159	1,8	
23.02.1998	9 325	1,8	
25.02.1998	13 323	1,8	
02.03.1998	8 270	1,8	
09.03.1998	7 227	1,8	
16.03.1998	9 328	1,8	
23.03.1998	7 12	-0,7	
30.03.1998	6 6	-0,7	
06.04.1998	13 193	1,8	
14.04.1998	11 218	1,8	
23.04.1998	14 135	-4,7	
27.04.1998	14 122	-5,2	
04.05.1998	16 118	-6,2	
18.05.1998	12 110	-7,7	
03.06.1998	15 117	-6,2	
01.07.1998	16 86	-7,2	
11.08.1998	18 116	-7,2	
16.11.1998	19 148	-10	
03.02.1999	21 153	-10	
10.05.1999	26 140	-10	
22.07.1999	39 130	-7,2	
08.09.1999	45 128	-7,2	
06.10.1999	47 128	-7,2	
03.11.1999	50 129	-7,2	
29.02.2000	58 127	-7,2	
16.05.2000	63 126	-7,2	
14.06.2000	62 129	-7,2	
20.06.2000	61 130	-7,2	
29.06.2000	55 129	-7,2	
05.07.2000	55 126	-7,2	
12.07.2000	54 125	-7,2	
20.07.2000	53 125	-7,2	
27.07.2000	53 125	-7,2	
10.08.2000	52 126	-7,2	
05.09.2000	52 125	-7,2	
20.09.2000	49 130	-10	
27.09.2000	49 132	-10	
04.10.2000	51 129	-10	
12.10.2000	61 131	-10	
23.10.2000	61 129	-10	
06.11.2000	59 124	-10	
20.11.2000	60 118	-7,2	
12.12.2000	56 123	-10	
09.01.2001	56 123	-10	
15.05.2001	62 104	-7,2	
05.06.2001	60 103	-7,2	
19.06.2001	61 104	-7,2	
26.07.2001	62 104	-7,2	
05.09.2001	60 105	-7,2	
29.10.2001	59 104	-7,2	
07.02.2002	56 103	-7,2	
03.12.2002	56 101	-7,2	
08.12.2003	40 97	-7,2	
15.09.2004	39 96	-7,2	
03.05.2005	37 86	-6,7	
18.07.2006	34 108	-11	
18.10.2007	34 94	-7,2	
29.05.2008	33 105	-11	
14.01.2009	45 400	0,8	
11.05.2010	47 1	0,8	
07.06.2011	46 5	0,8	
06.09.2012	46 7	0,8	
19.06.2013	47 4	0,8	

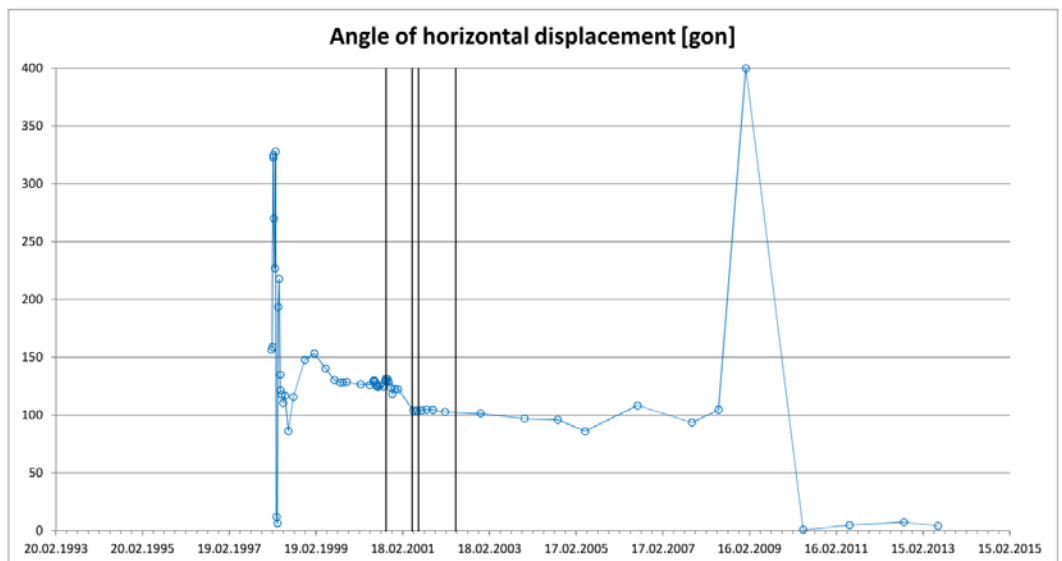
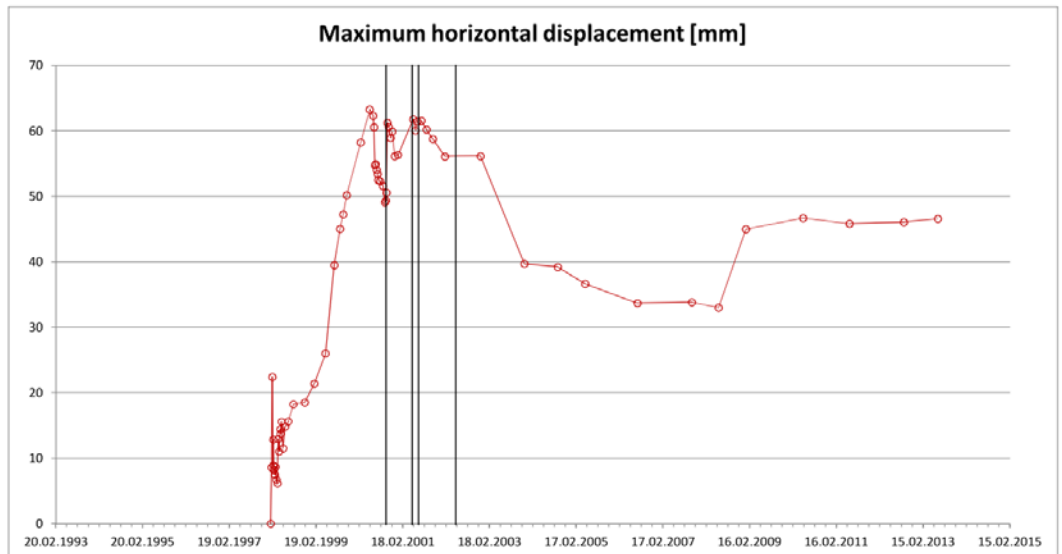
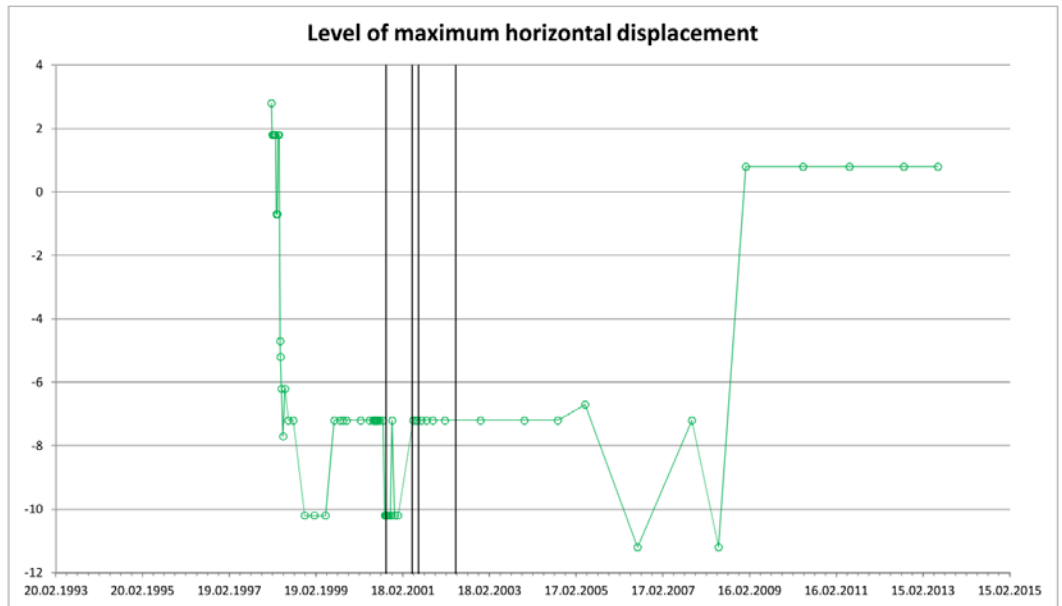
Angle directions [gon]:

North = 0, 400

East = 100

South = 200

West = 300



1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

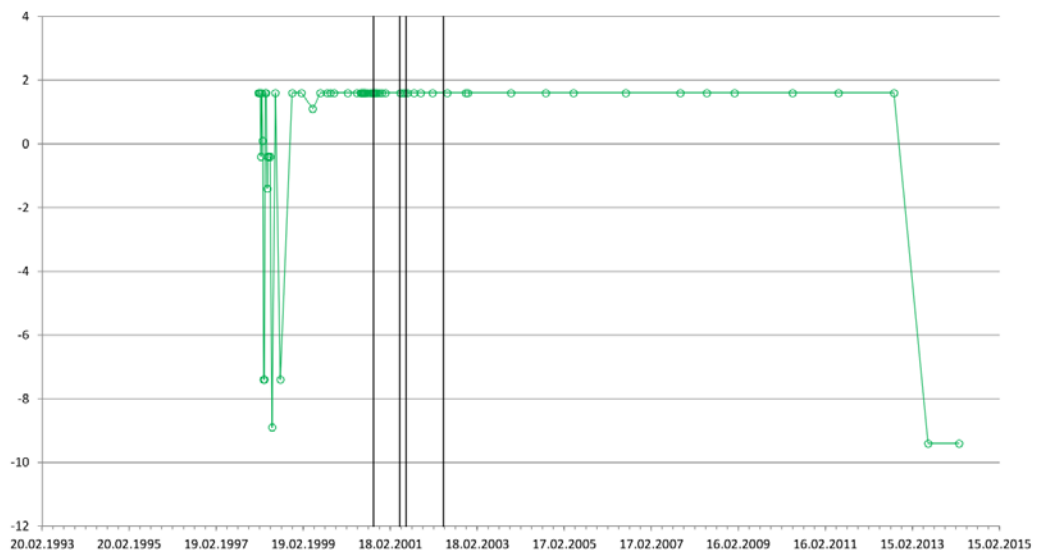
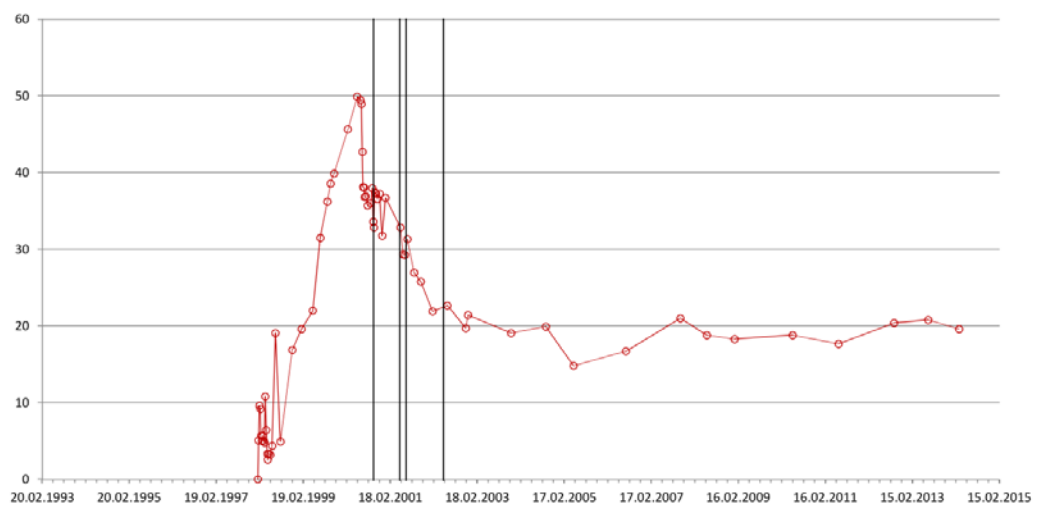
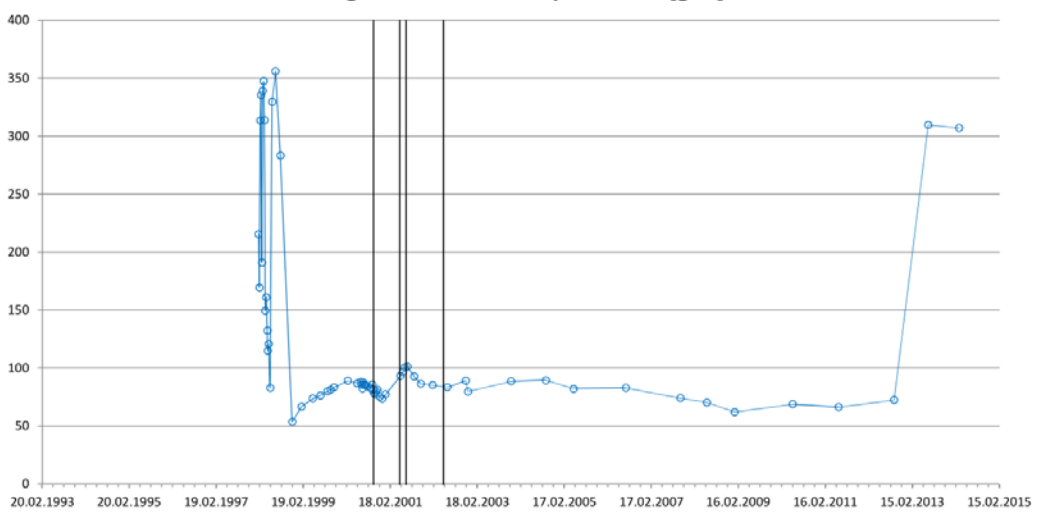
2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
04.02.1998	0		
09.02.1998	5	216	1,6
16.02.1998	10	170	1,6
24.02.1998	9	314	1,6
02.03.1998	6	336	-0,4
09.03.1998	5	191	1,6
16.03.1998	6	339	0,1
24.03.1998	5	348	-7,4
30.03.1998	5	314	-7,4
06.04.1998	11	149	1,6
14.04.1998	6	161	1,6
23.04.1998	3	132	-1,4
27.04.1998	3	115	-0,4
04.05.1998	3	121	-0,4
18.05.1998	3	83	-0,4
03.06.1998	4	330	-8,9
01.07.1998	19	356	1,6
11.08.1998	5	284	-7,4
18.11.1998	17	54	1,6
03.02.1999	20	67	1,6
10.05.1999	22	74	1,1
12.07.1999	31	76	1,6
08.09.1999	36	80	1,6
06.10.1999	39	81	1,6
03.11.1999	40	83	1,6
28.02.2000	46	89	1,6
16.05.2000	50	87	1,6
14.06.2000	49	88	1,6
20.06.2000	49	86	1,6
29.06.2000	43	82	1,6
05.07.2000	38	88	1,6
12.07.2000	38	86	1,6
19.07.2000	37	85	1,6
27.07.2000	37	85	1,6
10.08.2000	36	84	1,6
05.09.2000	36	82	1,6
20.09.2000	38	86	1,6
27.09.2000	34	82	1,6
04.10.2000	33	79	1,6
12.10.2000	37	77	1,6
19.10.2000	37	80	1,6
02.11.2000	37	81	1,6
20.11.2000	37	75	1,6
12.12.2000	32	73	1,6
09.01.2001	37	77	1,6
14.05.2001	33	93	1,6
05.06.2001	29	97	1,6
20.06.2001	29	101	1,6
12.07.2001	31	101	1,6
05.09.2001	27	93	1,6
31.10.2001	26	87	1,6
08.02.2002	22	85	1,6
12.06.2002	23	83	1,6
13.11.2002	20	89	1,6
02.12.2002	21	80	1,6
28.11.2003	19	89	1,6
15.09.2004	20	90	1,6
04.05.2005	15	82	1,6
19.07.2006	17	83	1,6
17.10.2007	21	74	1,6
27.05.2008	19	70	1,6
14.01.2009	18	62	1,6
17.05.2010	19	69	1,6
07.06.2011	18	66	1,6
13.09.2012	20	72	1,6
26.06.2013	21	310	-9,4
14.03.2014	20	307	-9,4

Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

Level of maximum horizontal displacement**Maximum horizontal displacement [mm]****Angle of horizontal displacement [gon]**

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
04.02.1998	0		
09.02.1998	2	86	-0,4
16.02.1998	5	142	-0,4
23.02.1998	15	362	1,6
02.03.1998	17	290	1,6
09.03.1998	4	331	1,6
16.03.1998	5	368	1,6
23.03.1998	14	358	1,6
30.03.1998	11	367	1,6
06.04.1998	6	105	-5,9
14.04.1998	5	96	-9,9
23.04.1998	8	40	-0,4
27.04.1998	9	56	-0,9
04.05.1998	10	51	-0,4
18.05.1998	11	64	-0,9
03.06.1998	11	38	-0,4
01.07.1998	19	380	1,6
11.08.1998	11	19	0,1
19.11.1998	7	46	0,1
05.02.1999	8	73	-4,9
11.05.1999	37	101	1,1
22.07.1999	45	98	1,1
08.09.1999	49	99	1,1
06.10.1999	50	100	1,1
03.11.1999	52	101	1,1
29.02.2000	56	102	1,1
16.05.2000	59	101	1,1
14.06.2000	61	100	0,6
20.06.2000	57	102	1,1
29.06.2000	51	105	1,1
05.07.2000	44	106	1,1
12.07.2000	44	108	1,1
20.07.2000	44	107	-4,9
27.07.2000	44	107	-4,9
10.08.2000	43	107	-4,9
05.09.2000	42	109	-7,4
20.09.2000	43	107	-4,9
27.09.2000	42	107	-4,9
04.10.2000	41	110	-7,4
12.10.2000	41	103	-4,9
24.10.2000	40	105	-8,4
06.11.2000	39	110	-8,4
20.11.2000	39	107	-8,4
12.12.2000	39	107	-8,9
10.01.2001	40	106	-4,9
14.05.2001	39	135	-8,9
05.06.2001	38	129	-11
03.07.2001	39	131	-9,9
05.09.2001	37	138	-11
29.10.2001	36	141	-11
07.02.2002	35	214	1,6
13.06.2002	34	141	-11
03.12.2002	33	214	1,6
14.11.2003	33	137	-11
08.09.2004	32	140	-11
20.04.2005	30	212	1,6
19.07.2006	30	137	-11
17.10.2007	28	137	-13
29.05.2008	28	141	-10
16.01.2009	37	227	1,6
12.05.2010	39	228	1,6
07.06.2011	38	226	1,6
13.09.2012	38	223	1,6
26.06.2013	37	222	1,6
14.03.2014	37	225	1,6

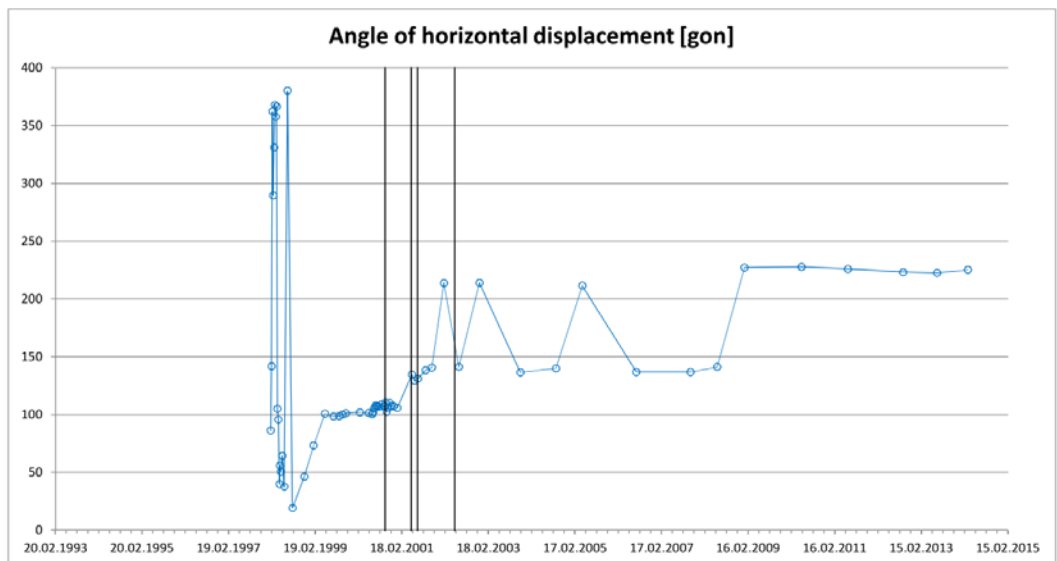
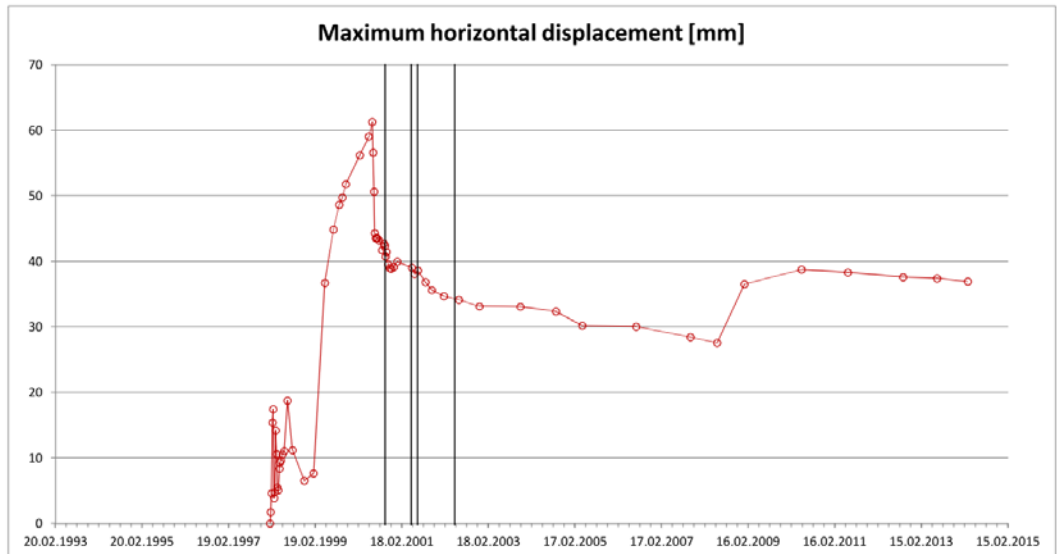
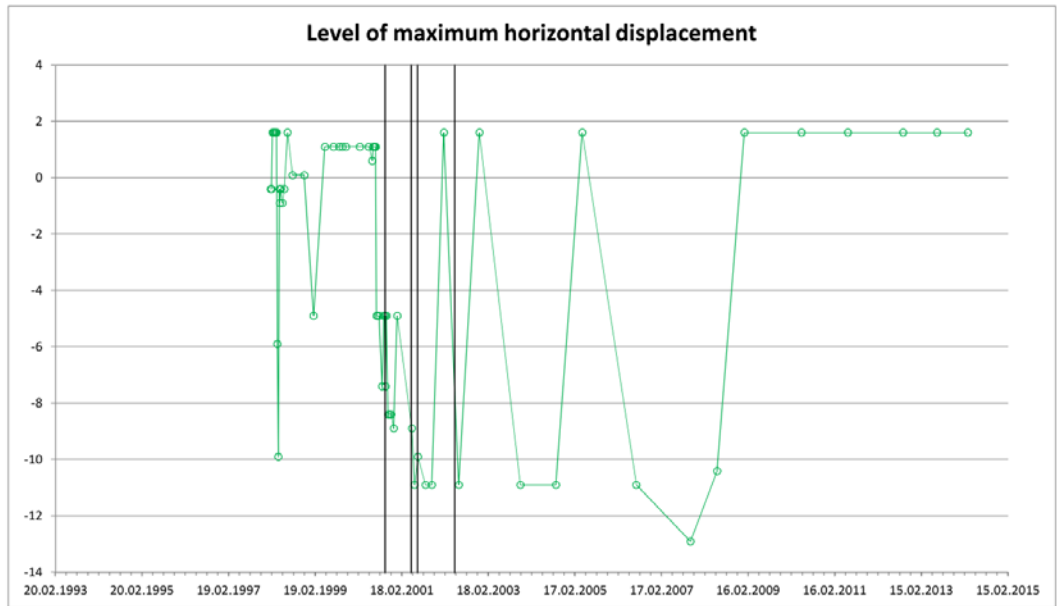
Angle directions [gon]:

North = 0, 400

East = 100

South = 200

West = 300



1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

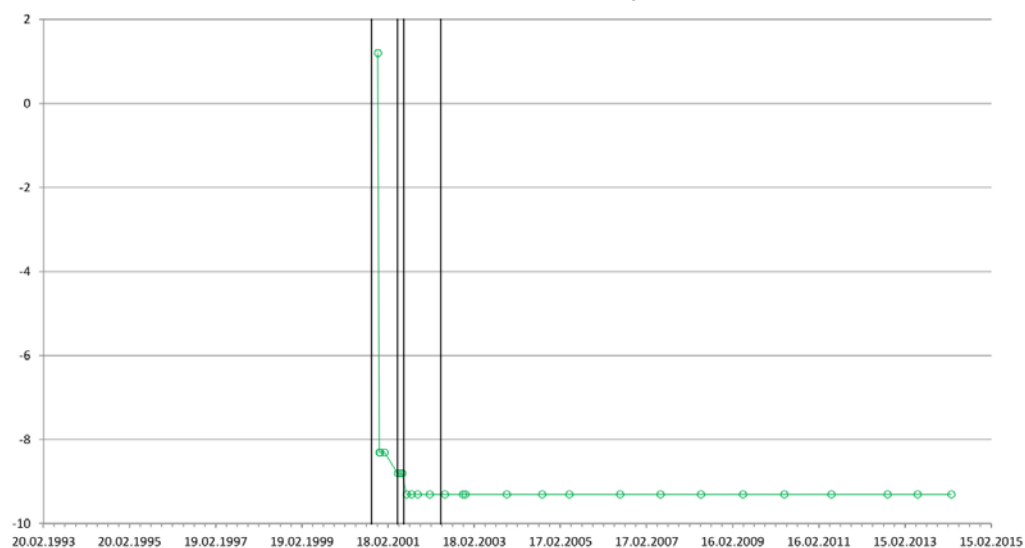
3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

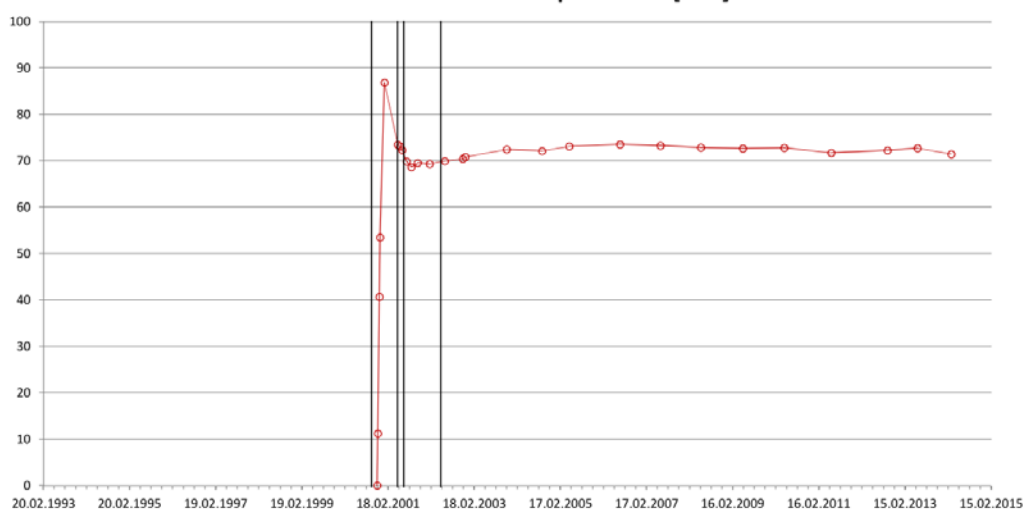
4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
17.11.2000	0		
22.11.2000	11	365	1,2
07.12.2000	41	79	-8,3
11.12.2000	53	68	-8,3
19.01.2001	87	67	-8,3
10.05.2001	73	68	-8,8
29.05.2001	73	68	-8,8
18.06.2001	72	67	-8,8
25.07.2001	70	67	-9,3
04.09.2001	69	65	-9,3
26.10.2001	70	64	-9,3
05.02.2002	69	62	-9,3
13.06.2002	70	61	-9,3
13.11.2002	70	59	-9,3
03.12.2002	71	59	-9,3
21.11.2003	72	56	-9,3
13.09.2004	72	55	-9,3
03.05.2005	73	52	-9,3
07.07.2006	74	50	-9,3
15.06.2007	73	50	-9,3
23.05.2008	73	49	-9,3
13.05.2009	73	52	-9,3
28.04.2010	73	53	-9,3
31.05.2011	72	52	-9,3
20.09.2012	72	54	-9,3
30.05.2013	73	52	-9,3
12.03.2014	71	52	-9,3

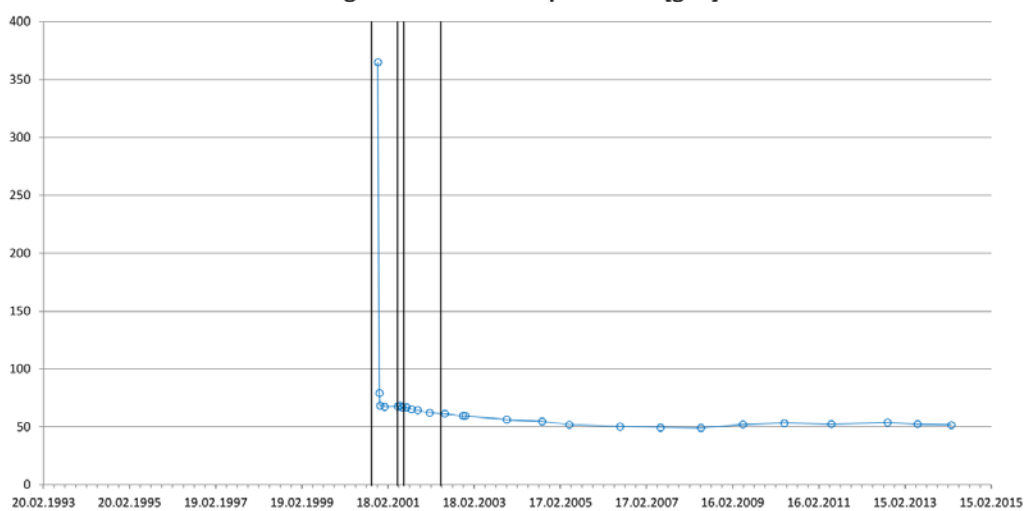
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

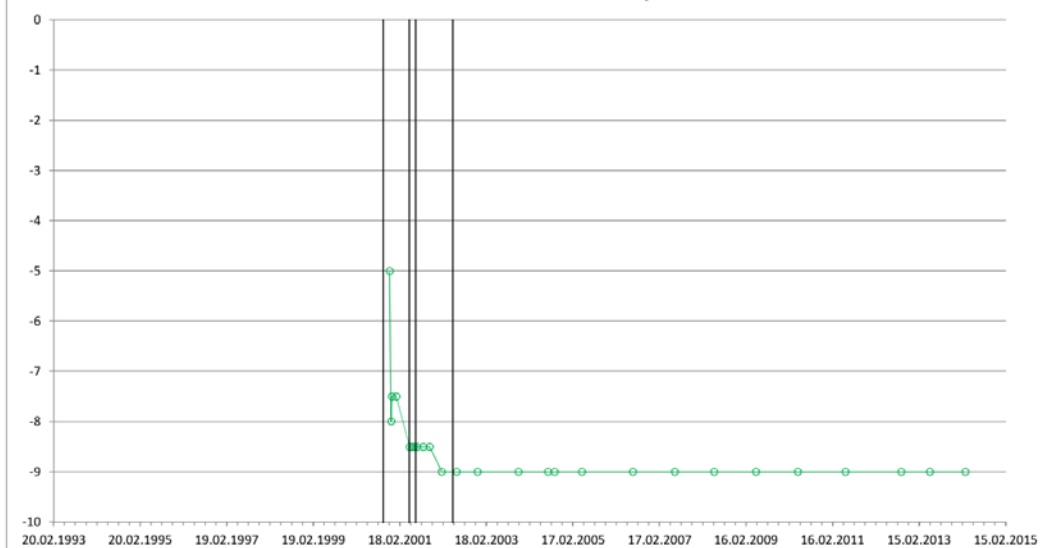


Angle directions [gon]:
 North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

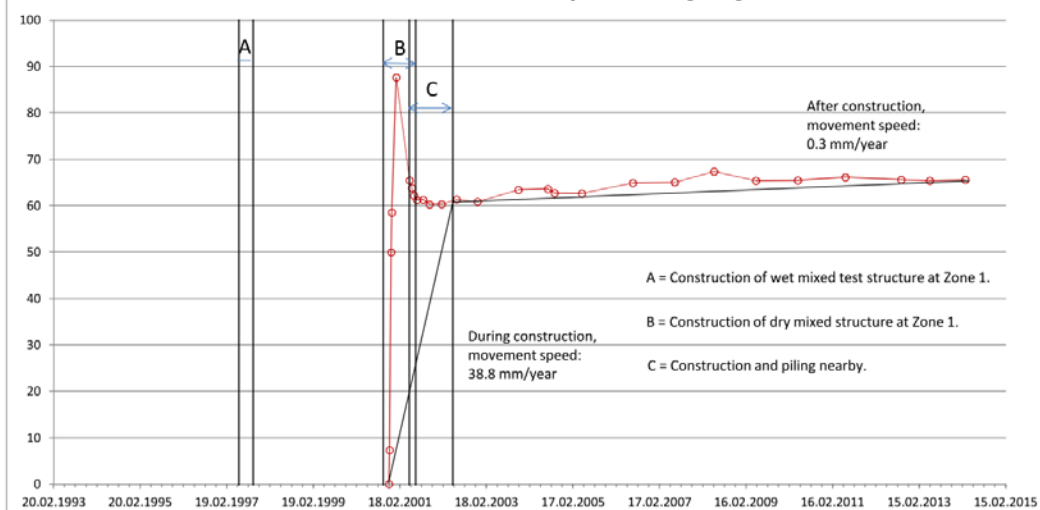
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
17.11.2000	0		
22.11.2000	7	32	-5
07.12.2000	50	70	-8
11.12.2000	59	73	-7,5
19.01.2001	88	73	-7,5
10.05.2001	65	65	-8,5
30.05.2001	64	65	-8,5
18.06.2001	62	64	-8,5
11.07.2001	61	63	-8,5
04.09.2001	61	61	-8,5
26.10.2001	60	60	-8,5
06.02.2002	60	57	-9
12.06.2002	61	56	-9
03.12.2002	61	54	-9
13.11.2003	63	54	-9
21.07.2004	64	54	-9
14.09.2004	63	51	-9
02.05.2005	63	48	-9
07.07.2006	65	49	-9
25.06.2007	65	47	-9
23.05.2008	67	48	-9
11.05.2009	65	47	-9
27.04.2010	65	46	-9
03.06.2011	66	46	-9
17.09.2012	66	47	-9
14.05.2013	65	46	-9
11.03.2014	66	46	-9

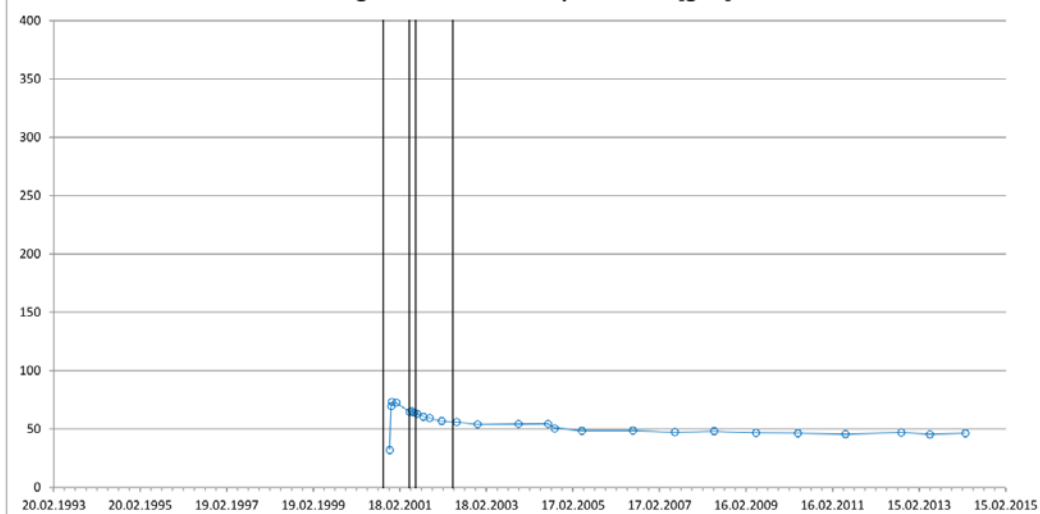
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

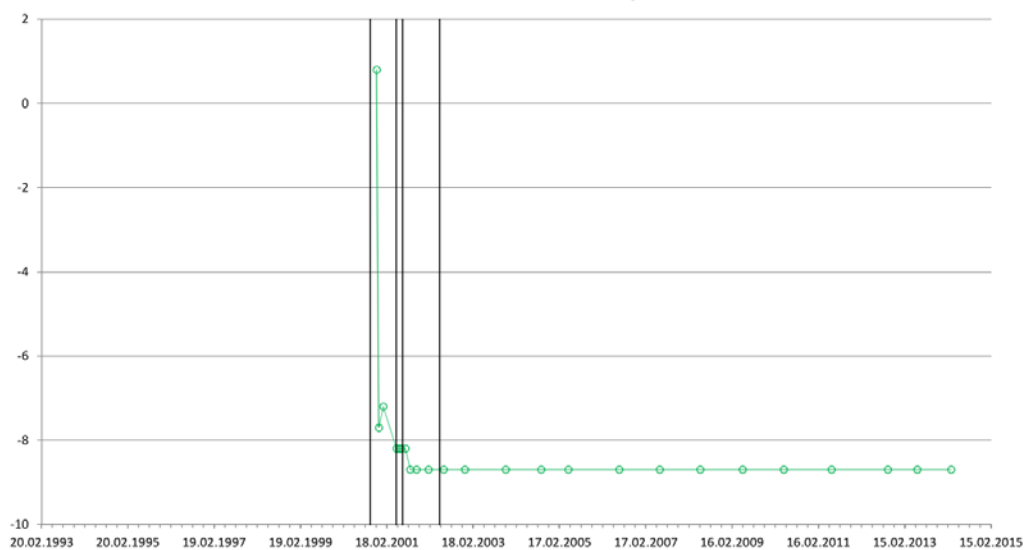
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
East = 100
South = 200
West = 300

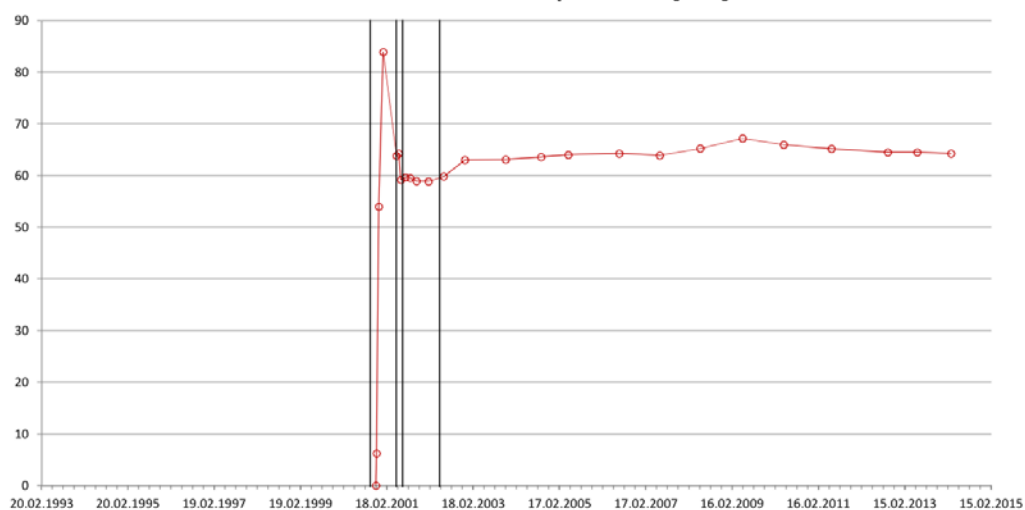
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
17.11.2000	0		
22.11.2000	6	384	0,8
11.12.2000	54	99	-7,7
19.01.2001	84	87	-7,2
10.05.2001	64	83	-8,2
30.05.2001	64	83	-8,2
18.06.2001	59	83	-8,2
25.07.2001	60	78	-8,2
04.09.2001	60	77	-8,7
26.10.2001	59	76	-8,7
05.02.2002	59	73	-8,7
13.06.2002	60	73	-8,7
09.12.2002	63	71	-8,7
21.11.2003	63	73	-8,7
13.09.2004	64	71	-8,7
03.05.2005	64	67	-8,7
07.07.2006	64	70	-8,7
15.06.2007	64	69	-8,7
23.05.2008	65	69	-8,7
14.05.2009	67	64	-8,7
28.04.2010	66	63	-8,7
06.06.2011	65	62	-8,7
24.09.2012	65	66	-8,7
30.05.2013	64	63	-8,7
12.03.2014	64	63	-8,7

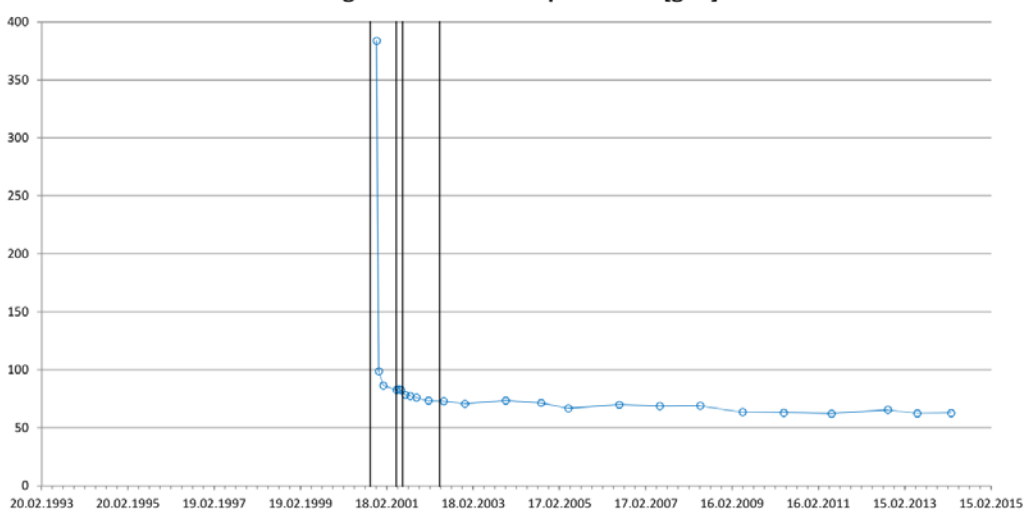
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

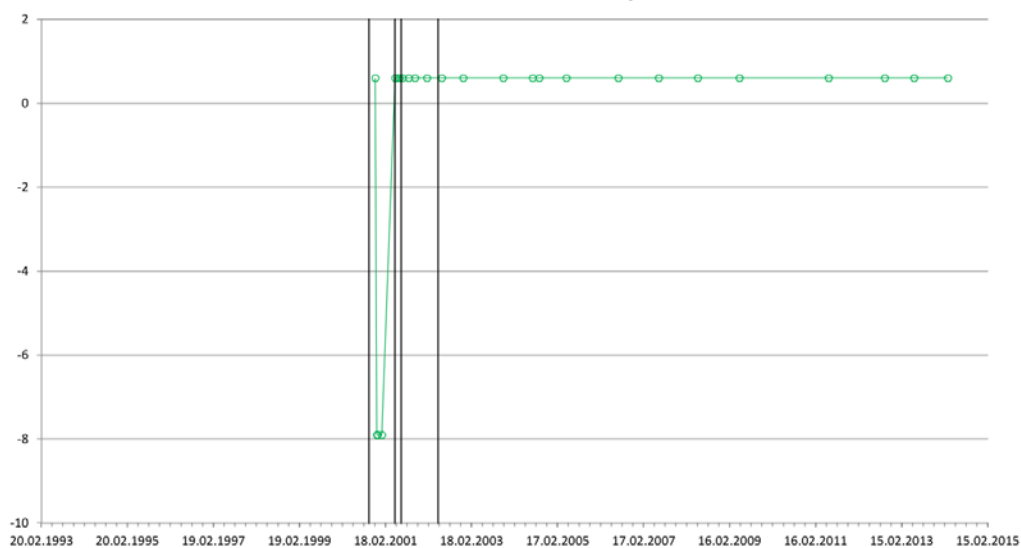
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

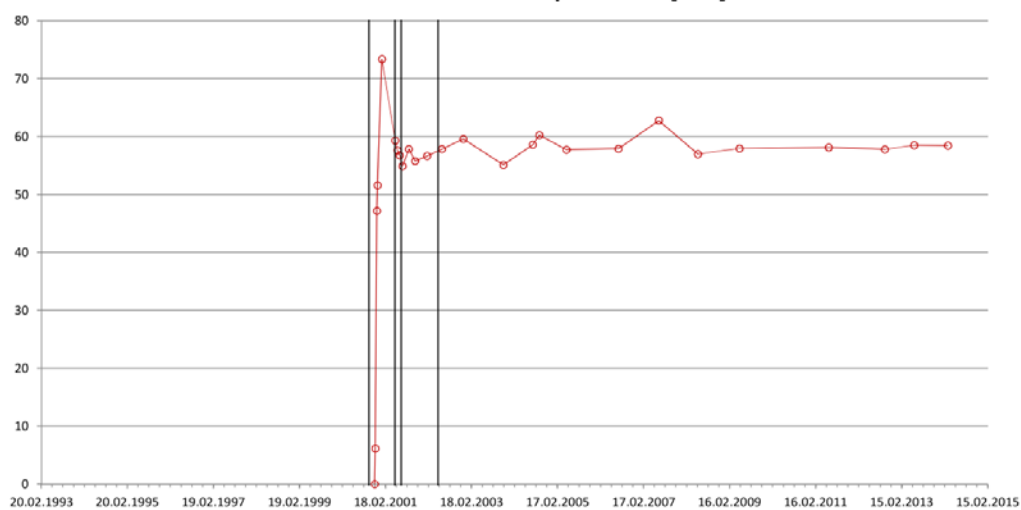
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of horizontal displacement
17.11.2000	0		
22.11.2000	6	370	0,6
07.12.2000	47	95	-7,9
11.12.2000	52	98	-7,9
19.01.2001	73	82	-7,9
10.05.2001	59	90	0,6
30.05.2001	58	90	0,6
18.06.2001	57	90	0,6
11.07.2001	55	86	0,6
04.09.2001	58	81	0,6
26.10.2001	56	80	0,6
06.02.2002	57	76	0,6
12.06.2002	58	77	0,6
09.12.2002	60	78	0,6
13.11.2003	55	72	0,6
21.07.2004	59	75	0,6
14.09.2004	60	74	0,6
02.05.2005	58	69	0,6
18.07.2006	58	73	0,6
25.06.2007	63	72	0,6
23.05.2008	57	73	0,6
11.05.2009	58	72	0,6
06.06.2011	58	73	0,6
24.09.2012	58	76	0,6
30.05.2013	59	73	0,6
12.03.2014	58	73	0,6

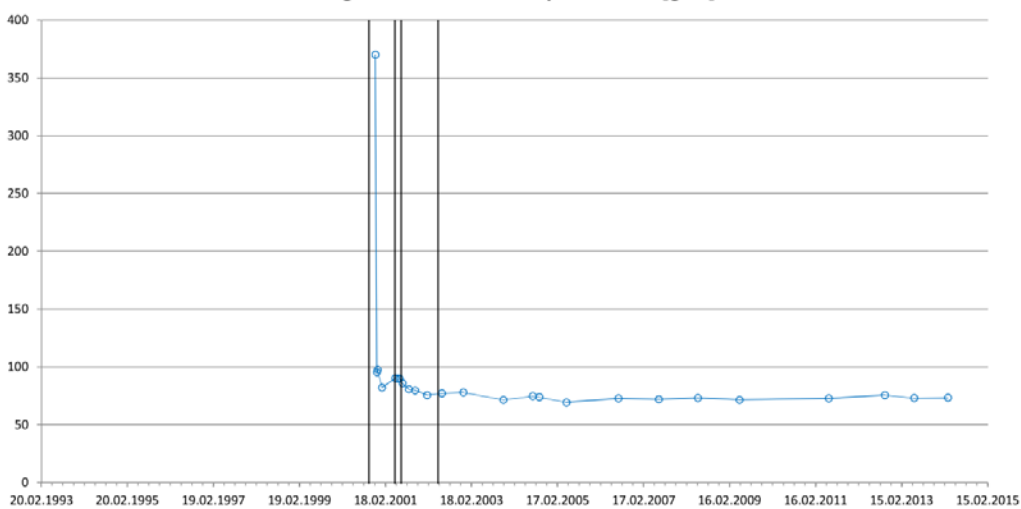
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

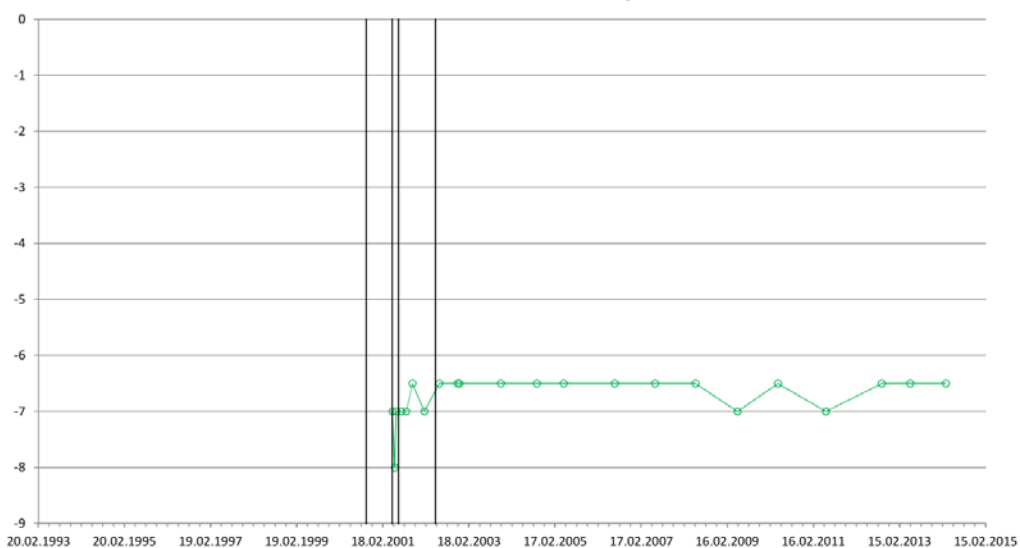
3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

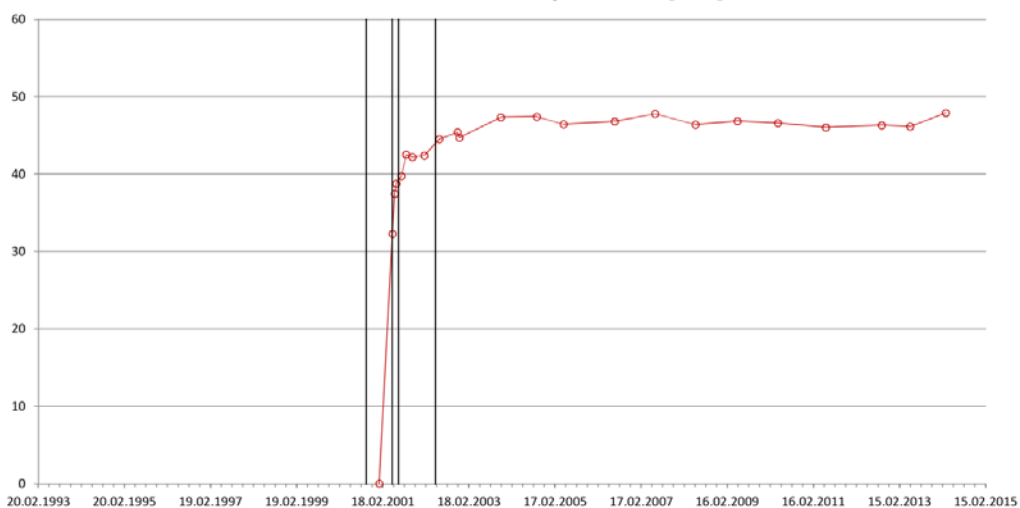
4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
18.01.2001	0		
11.05.2001	32	124	-7
30.05.2001	37	125	-8
12.06.2001	39	126	-7
24.07.2001	40	111	-7
04.09.2001	43	107	-7
26.10.2001	42	105	-6,5
05.02.2002	42	102	-7
11.06.2002	45	102	-6,5
12.11.2002	45	99	-6,5
29.11.2002	45	98	-6,5
14.11.2003	47	98	-6,5
13.09.2004	47	98	-6,5
29.04.2005	46	95	-6,5
07.07.2006	47	96	-6,5
15.06.2007	48	94	-6,5
23.05.2008	46	94	-6,5
13.05.2009	47	93	-7
19.04.2010	47	92	-6,5
01.06.2011	46	93	-7
17.09.2012	46	93	-6,5
14.05.2013	46	91	-6,5
12.03.2014	48	92	-6,5

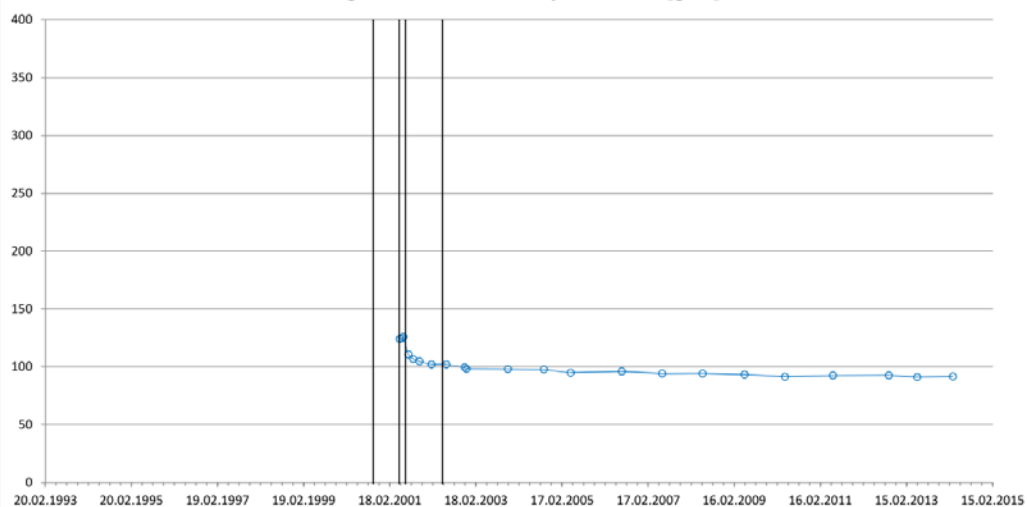
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

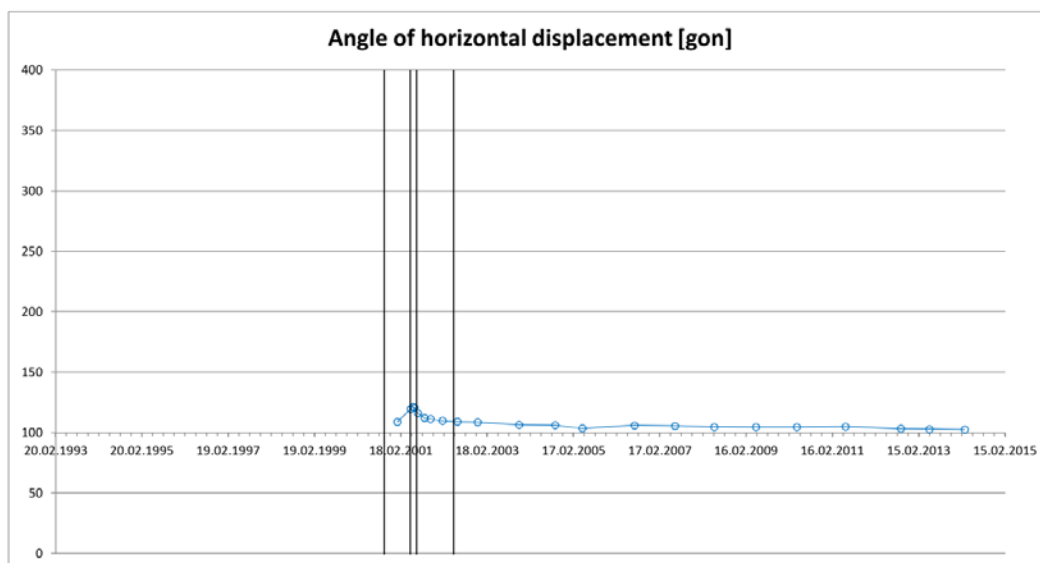
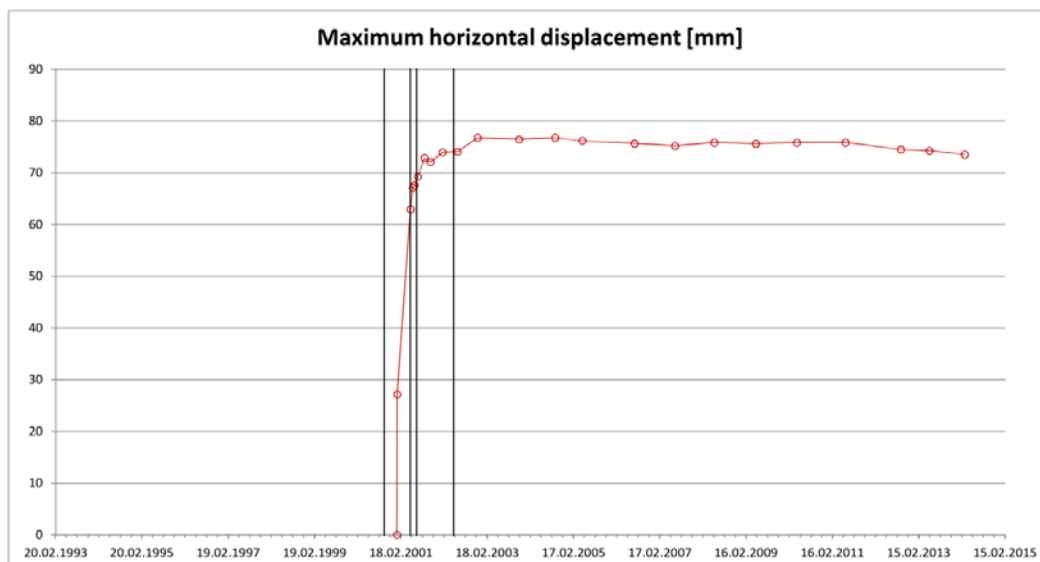
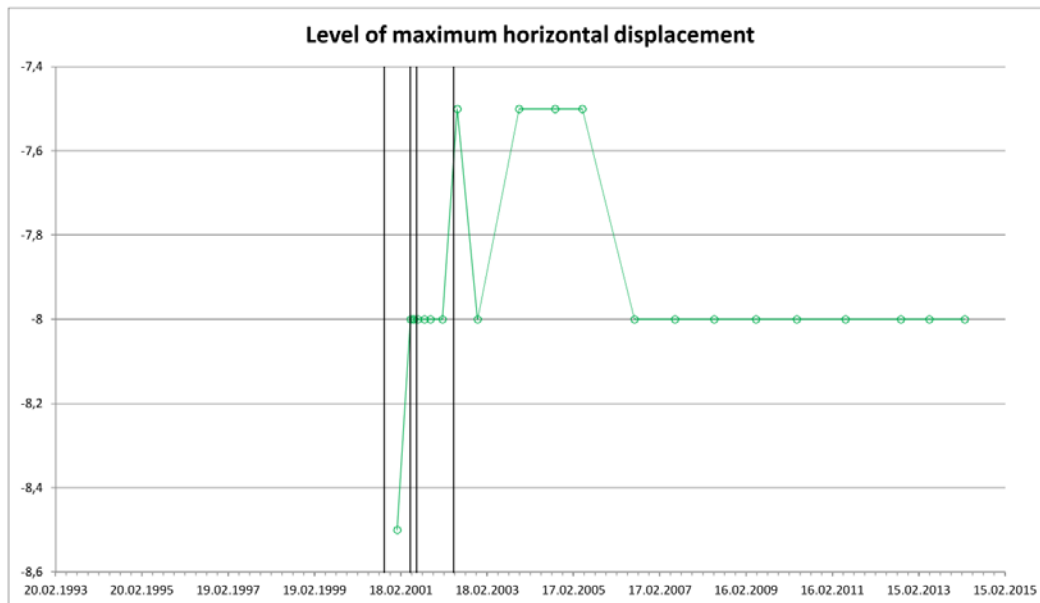
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
16.01.2001	0		
18.01.2001	27	109	-8,5
11.05.2001	63	120	-8
30.05.2001	67	121	-8
12.06.2001	68	121	-8
10.07.2001	69	116	-8
05.09.2001	73	112	-8
26.10.2001	72	111	-8
04.02.2002	74	110	-8
11.06.2002	74	109	-7,5
29.11.2002	77	109	-8
14.11.2003	76	106	-7,5
14.09.2004	77	106	-7,5
02.05.2005	76	104	-7,5
18.07.2006	76	106	-8
25.06.2007	75	105	-8
23.05.2008	76	105	-8
11.05.2009	76	105	-8
20.04.2010	76	105	-8
06.06.2011	76	105	-8
17.09.2012	75	103	-8
14.05.2013	74	103	-8
11.03.2014	74	102	-8

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400

East = 100

South = 200

West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

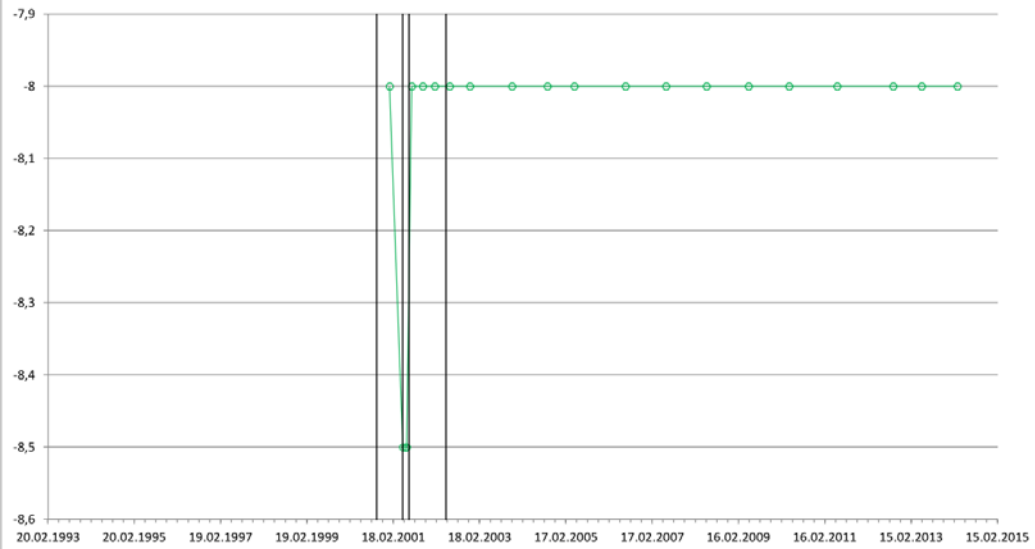
3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

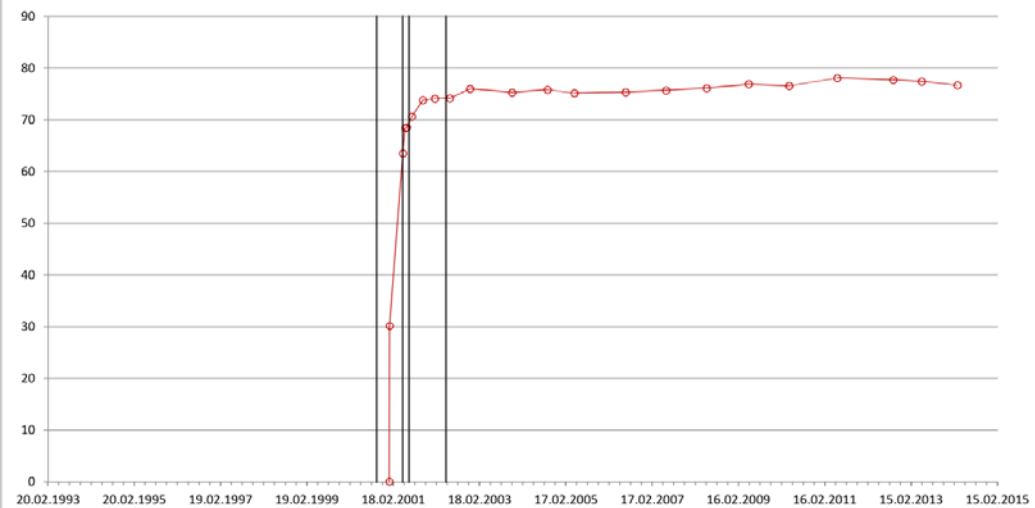
4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
16.01.2001	0		
18.01.2001	30	62	-8
11.05.2001	64	89	-8,5
30.05.2001	68	91	-8,5
12.06.2001	69	91	-8,5
24.07.2001	71	84	-8
26.10.2001	74	81	-8
05.02.2002	74	79	-8
11.06.2002	74	79	-8
29.11.2002	76	79	-8
21.11.2003	75	77	-8
13.09.2004	76	78	-8
29.04.2005	75	76	-8
07.07.2006	75	78	-8
15.06.2007	76	77	-8
23.05.2008	76	76	-8
13.05.2009	77	73	-8
20.04.2010	77	73	-8
31.05.2011	78	73	-8
17.09.2012	78	73	-8
14.05.2013	77	72	-8
12.03.2014	77	73	-8

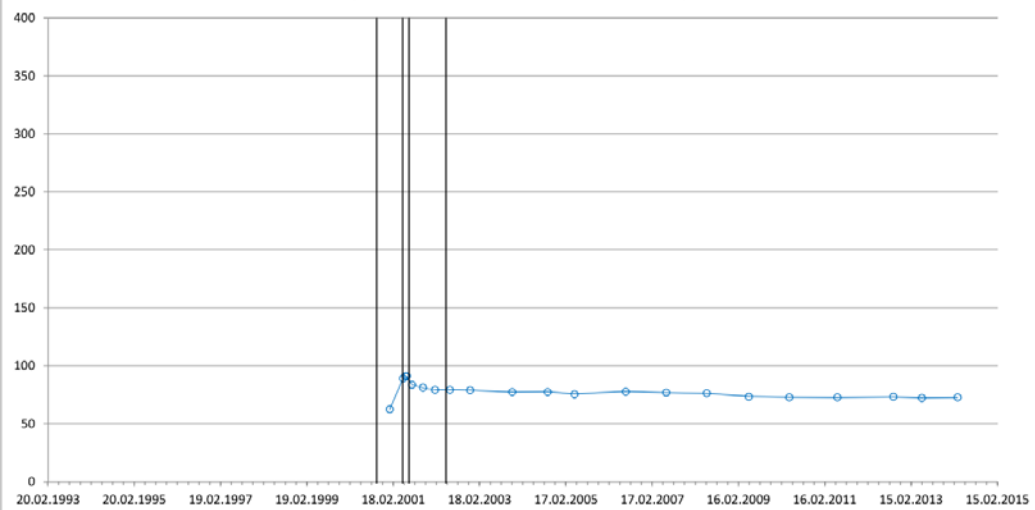
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

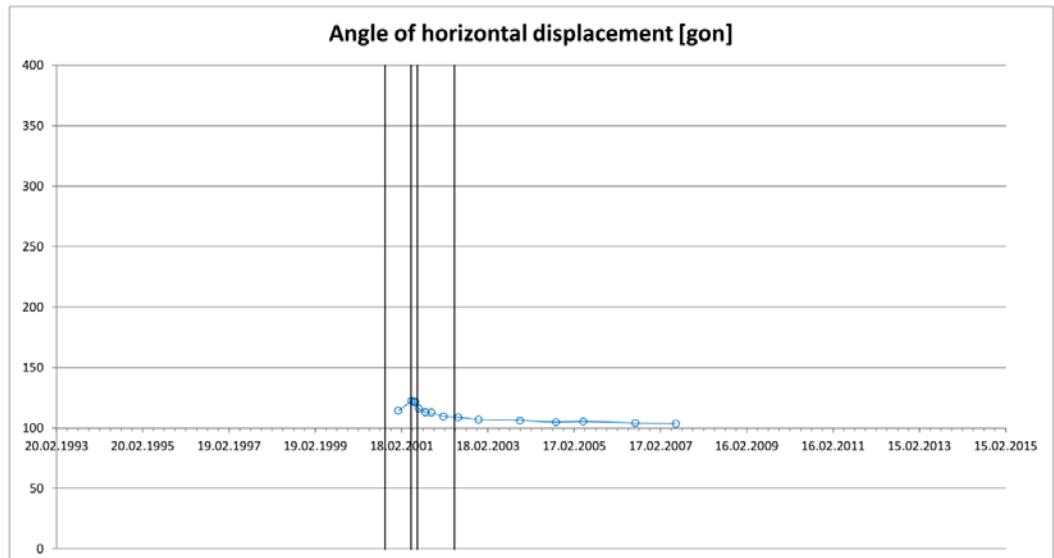
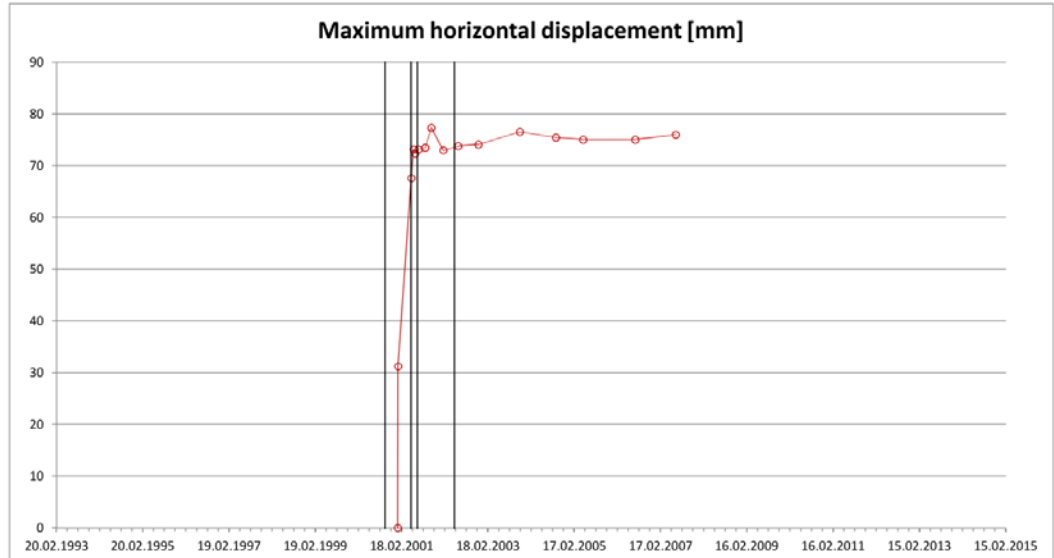
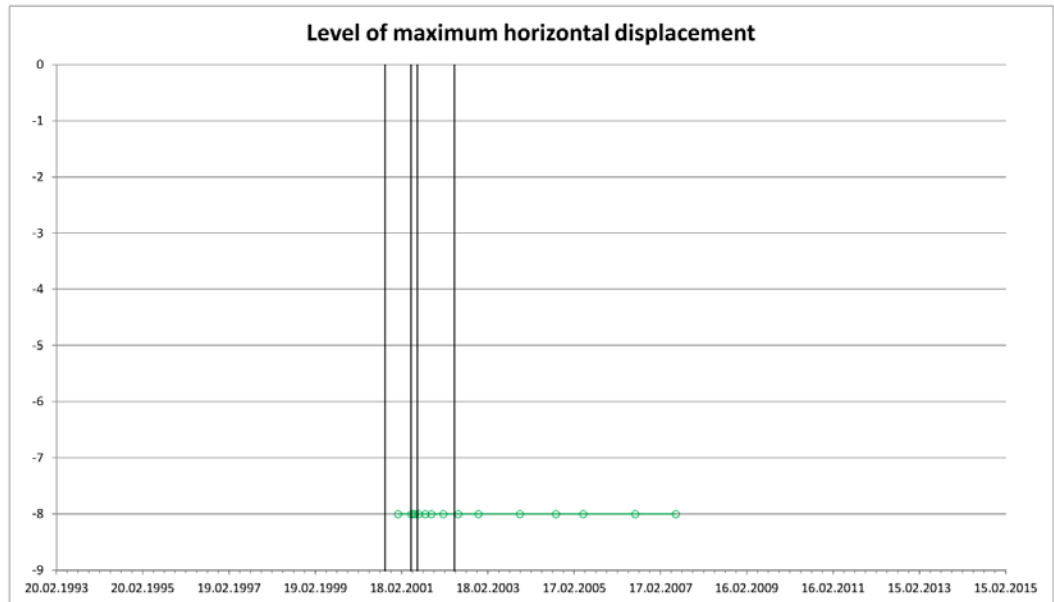


Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
16.01.2001	0		
18.01.2001	31	114	-8
11.05.2001	68	122	-8
30.05.2001	73	122	-8
12.06.2001	72	122	-8
10.07.2001	73	116	-8
05.09.2001	74	113	-8
26.10.2001	77	113	-8
04.02.2002	73	109	-8
11.06.2002	74	109	-8
29.11.2002	74	107	-8
14.11.2003	77	106	-8
14.09.2004	75	105	-8
02.05.2005	75	106	-8
18.07.2006	75	104	-8
25.06.2007	76	104	-8

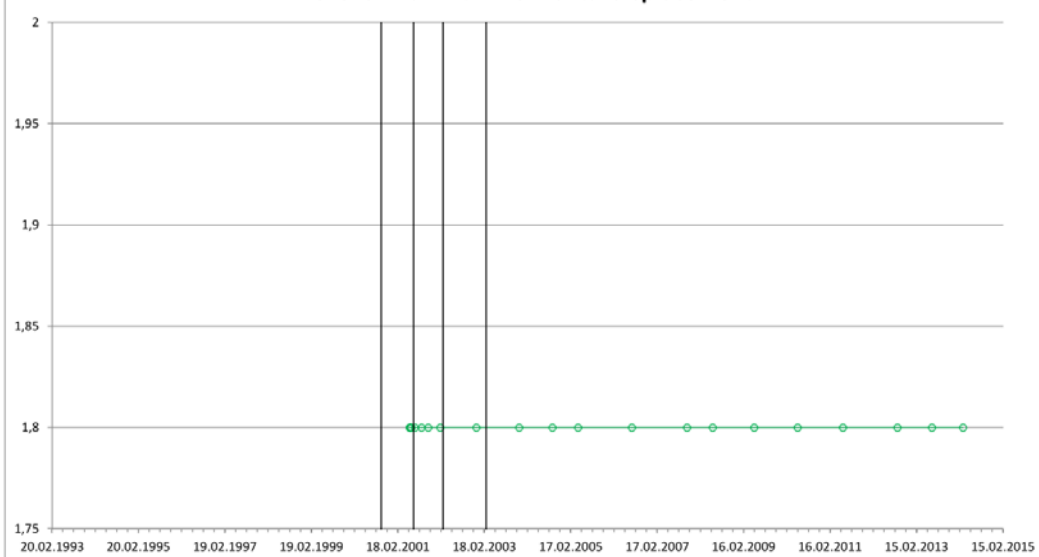
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

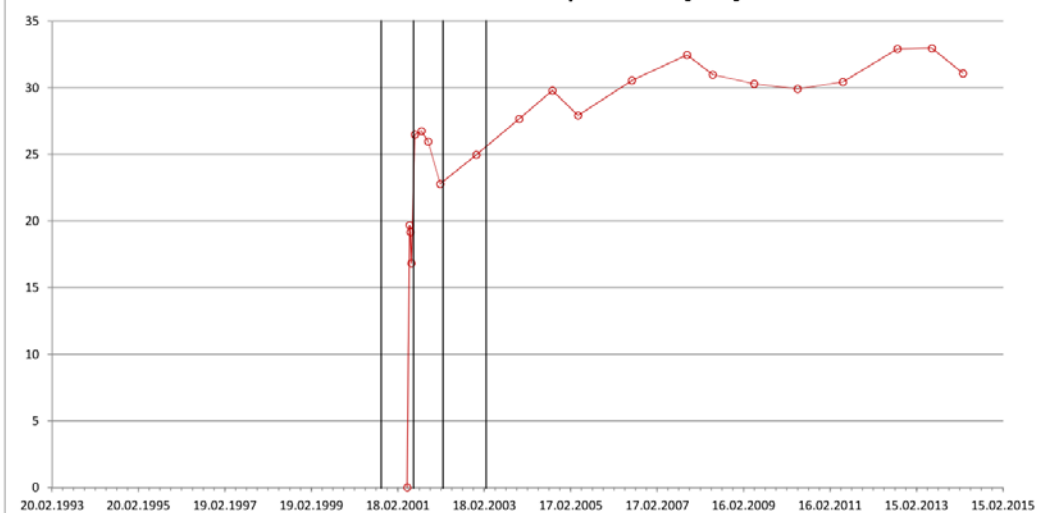
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
07.05.2001	0		
28.05.2001	20	97	1,8
04.06.2001	19	106	1,8
13.06.2001	17	106	1,8
11.07.2001	26	104	1,8
06.09.2001	27	108	1,8
01.11.2001	26	109	1,8
11.02.2002	23	110	1,8
11.12.2002	25	108	1,8
08.12.2003	28	110	1,8
14.09.2004	30	111	1,8
20.04.2005	28	110	1,8
19.07.2006	31	112	1,8
26.10.2007	32	112	1,8
29.05.2008	31	110	1,8
14.05.2009	30	111	1,8
17.05.2010	30	112	1,8
03.06.2011	30	112	1,8
06.09.2012	33	111	1,8
24.06.2013	33	112	1,8
12.03.2014	31	113	1,8

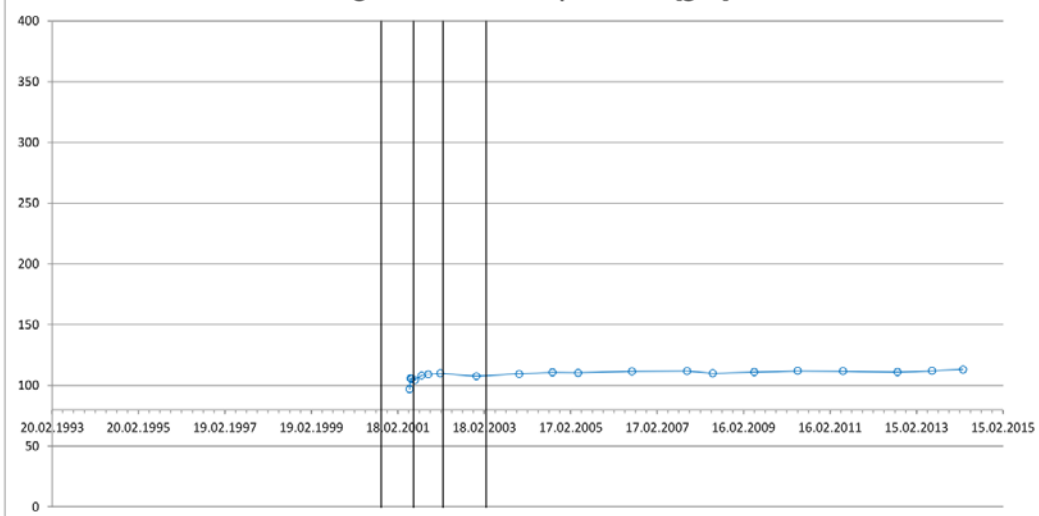
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



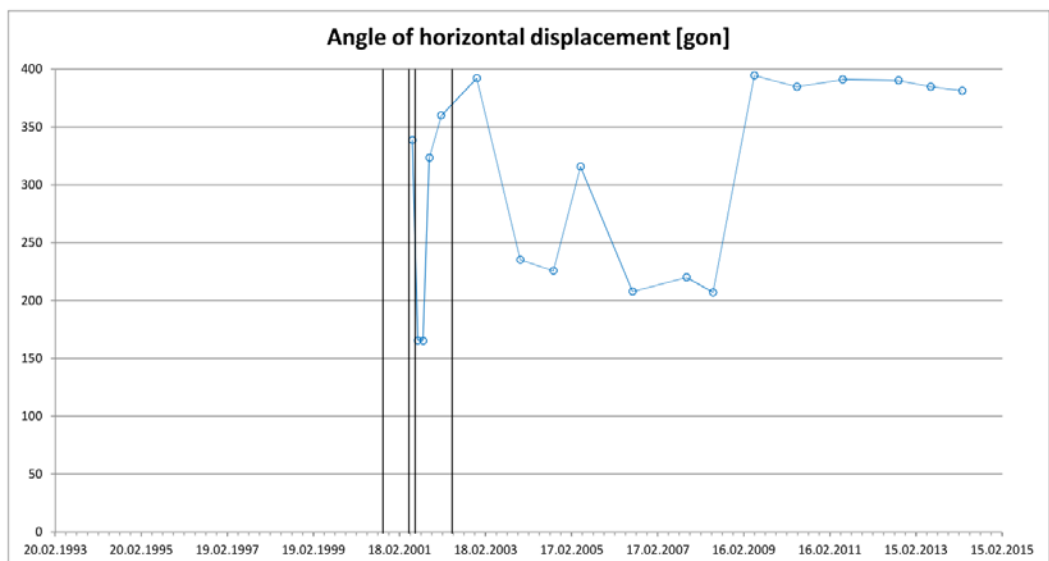
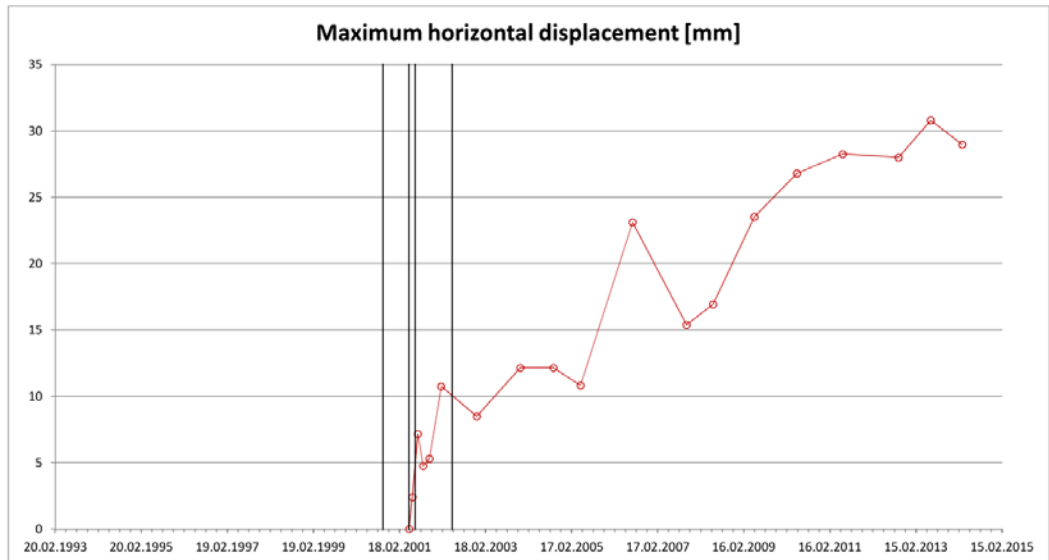
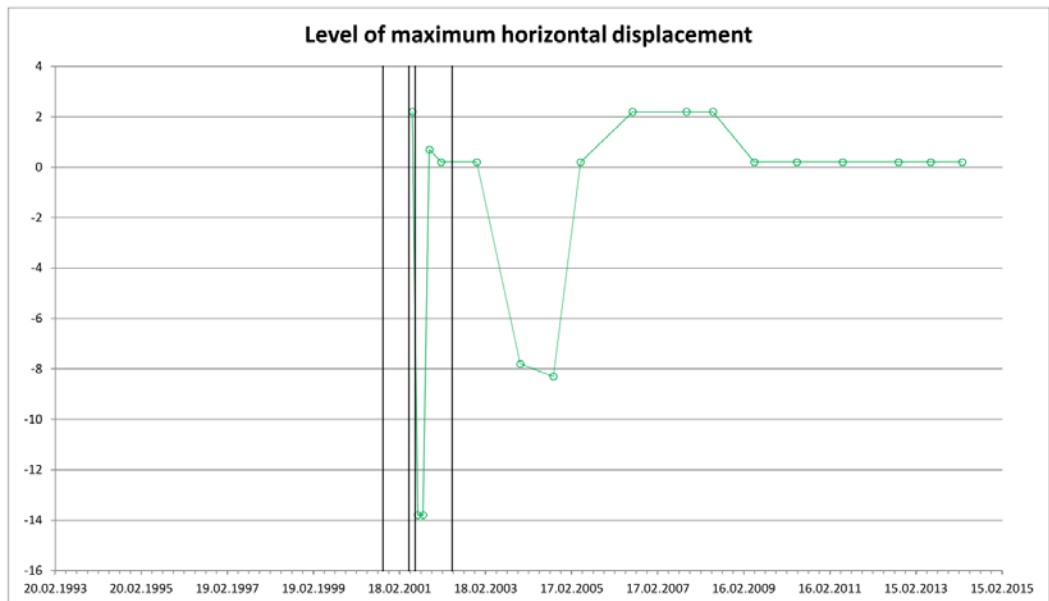
Angle of horizontal displacement [gon]



Angle directions [gon]:
 North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
10.05.2001	0		
06.06.2001	2	339	2,2
23.07.2001	7	166	-14
05.09.2001	5	165	-14
29.10.2001	5	324	0,7
06.02.2002	11	360	0,2
03.12.2002	9	392	0,2
08.12.2003	12	235	-7,8
15.09.2004	12	226	-8,3
03.05.2005	11	316	0,2
18.07.2006	23	208	2,2
18.10.2007	15	220	2,2
29.05.2008	17	207	2,2
14.05.2009	24	395	0,2
12.05.2010	27	385	0,2
03.06.2011	28	391	0,2
20.09.2012	28	390	0,2
19.06.2013	31	385	0,2
12.03.2014	29	381	0,2

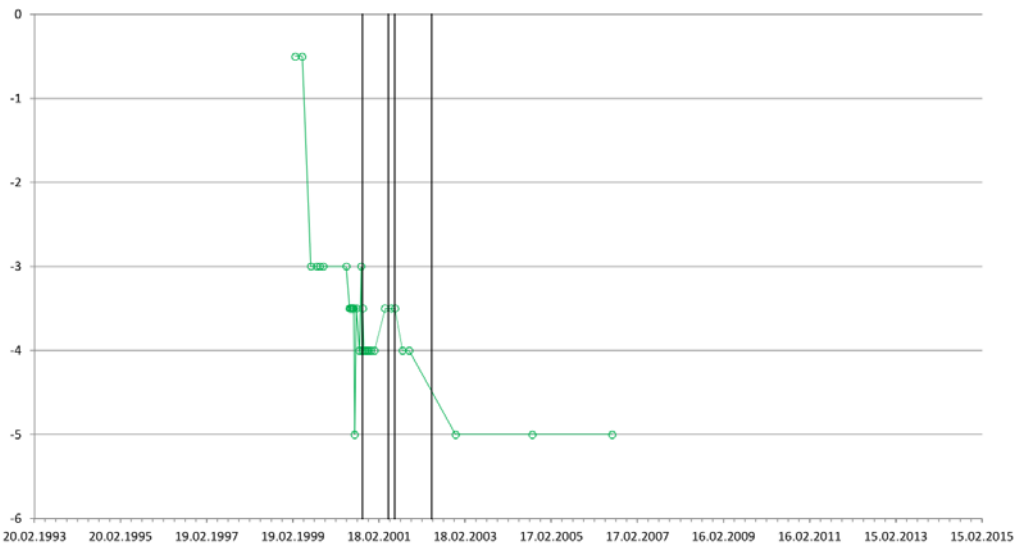
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

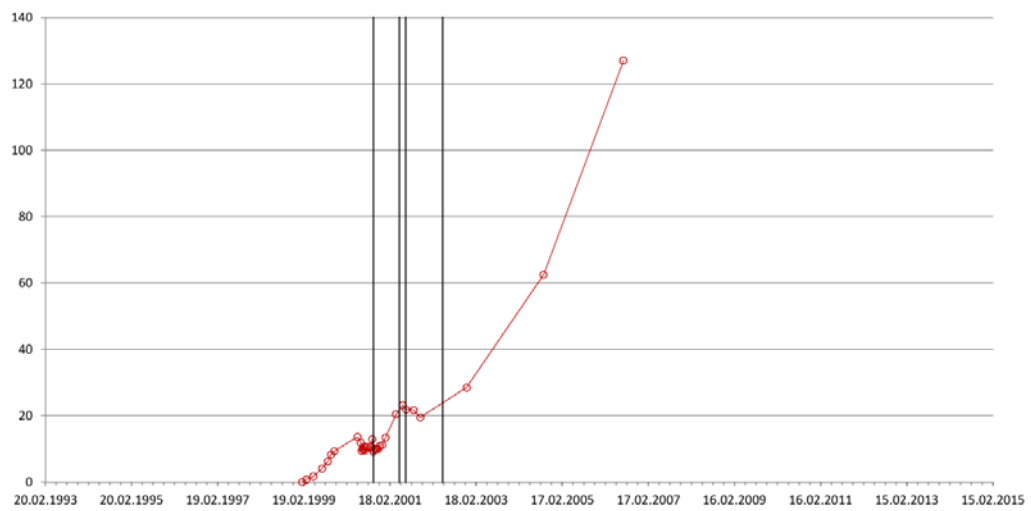
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]		Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
03.02.1999	0			
10.03.1999	1	12	-0,5	
10.05.1999	2	51	-0,5	
22.07.1999	4	95	-3	
08.09.1999	6	89	-3	
06.10.1999	8	94	-3	
03.11.1999	9	107	-3	
17.05.2000	14	112	-3	
14.06.2000	12	111	-3,5	
21.06.2000	9	105	-3,5	
29.06.2000	10	119	-3,5	
06.07.2000	10	121	-3,5	
13.07.2000	11	121	-3,5	
20.07.2000	10	115	-3,5	
27.07.2000	10	128	-5	
10.08.2000	11	121	-3,5	
05.09.2000	11	115	-4	
21.09.2000	13	111	-3	
27.09.2000	9	112	-4	
04.10.2000	10	109	-3,5	
13.10.2000	10	107	-4	
24.10.2000	10	103	-4	
06.11.2000	10	104	-4	
21.11.2000	11	110	-4	
13.12.2000	11	86	-4	
10.01.2001	13	93	-4	
10.04.2001	20	134	-3,5	
05.06.2001	23	133	-3,5	
04.07.2001	22	131	-3,5	
06.09.2001	22	129	-4	
31.10.2001	19	126	-4	
29.11.2002	28	133	-5	
10.09.2004	62	129	-5	
19.07.2006	127	126	-5	

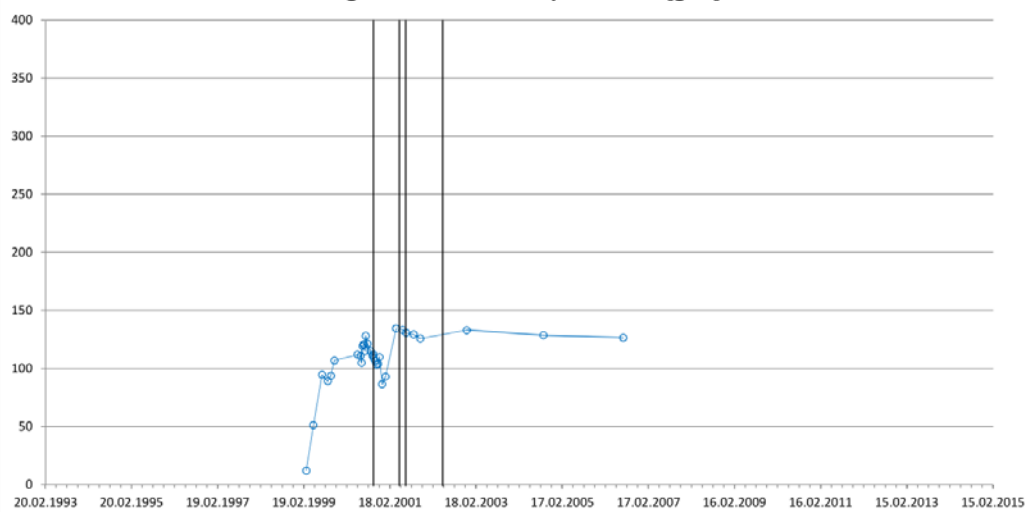
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

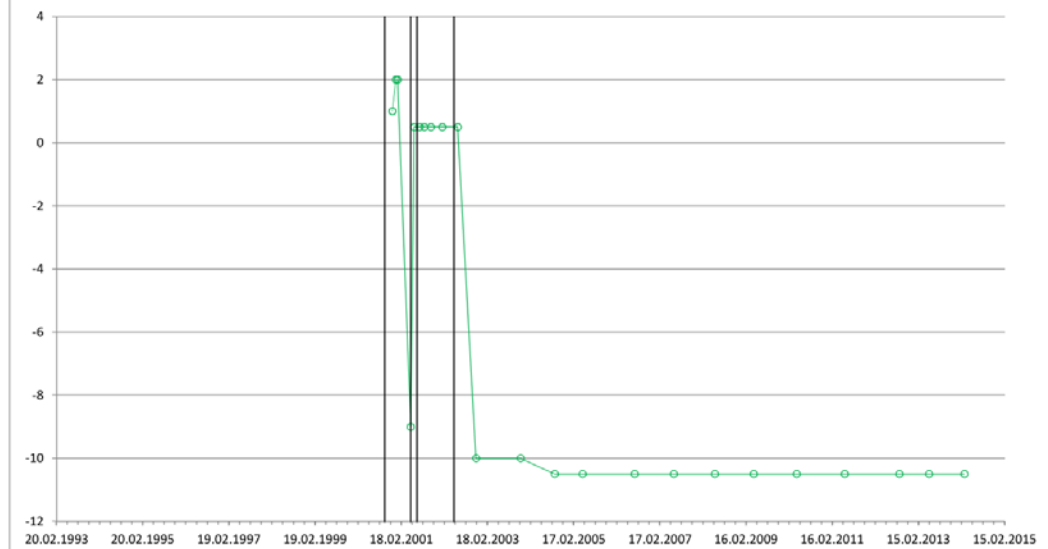
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

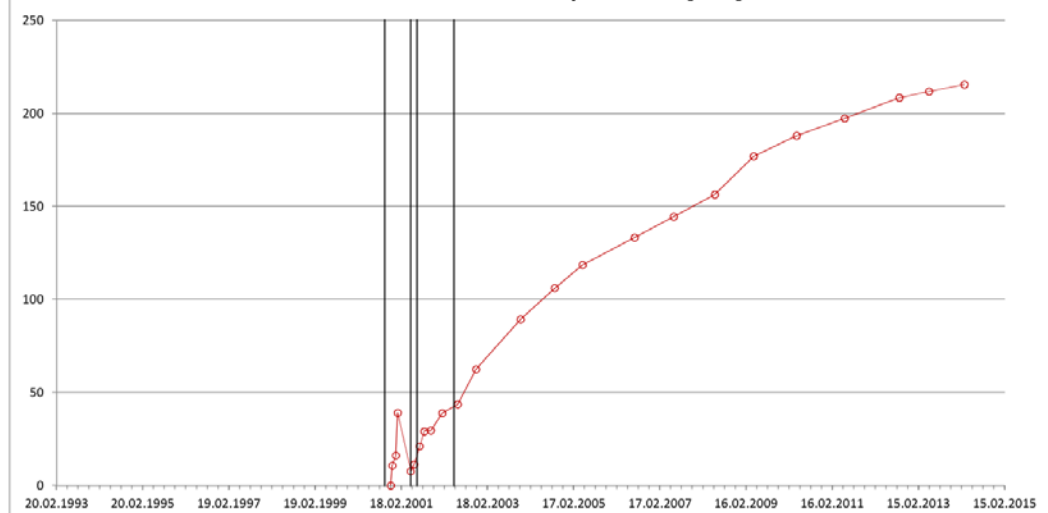
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
21.11.2000	0		
04.12.2000	11	278	1
03.01.2001	16	290	2
18.01.2001	39	302	2
09.05.2001	8	370	-9
06.06.2001	11	13	0,5
23.07.2001	21	43	0,5
31.08.2001	29	50	0,5
25.10.2001	30	50	0,5
31.01.2002	39	51	0,5
11.06.2002	44	47	0,5
13.11.2002	63	44	-10
24.11.2003	89	44	-10
10.09.2004	106	45	-11
03.05.2005	119	44	-11
18.07.2006	133	45	-11
15.06.2007	145	46	-11
27.05.2008	156	46	-11
20.04.2009	177	47	-11
19.04.2010	188	48	-11
31.05.2011	197	48	-11
06.09.2012	208	48	-11
14.05.2013	212	48	-11
11.03.2014	216	48	-11

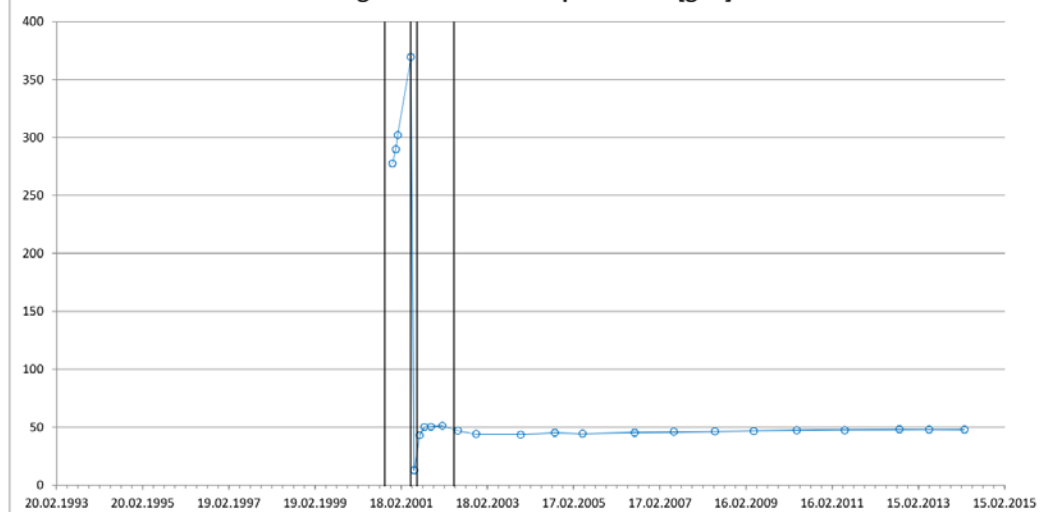
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.

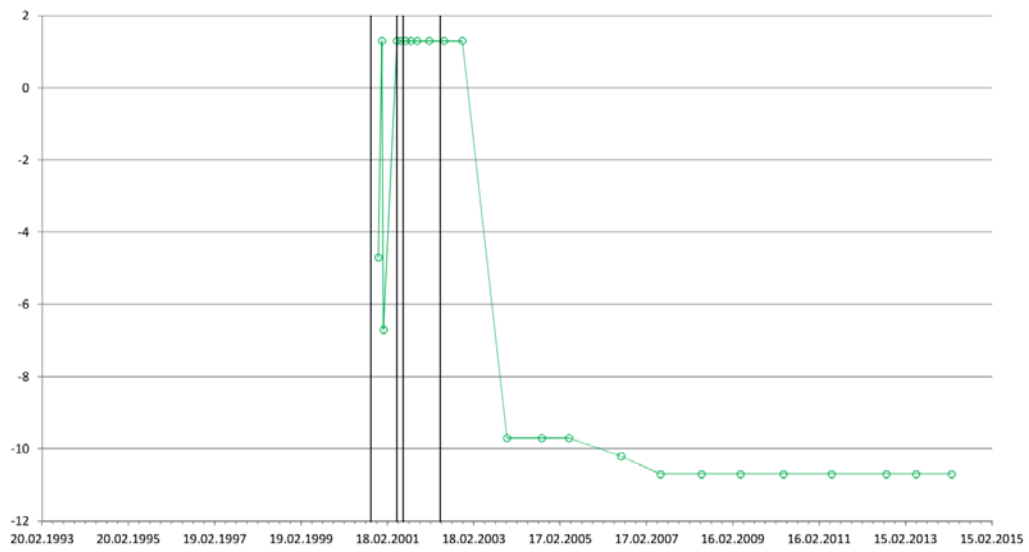
3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.

2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.

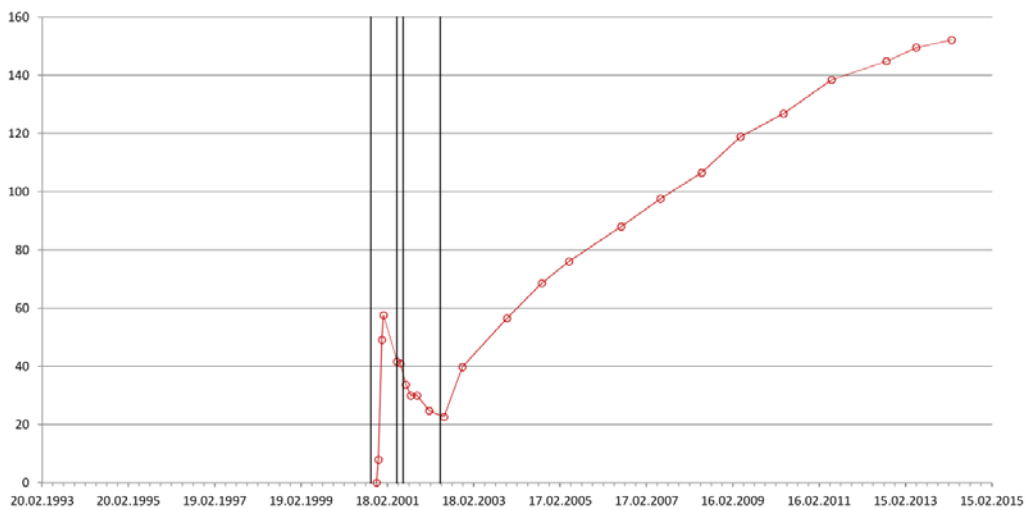
4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
17.11.2000	0		
04.12.2000	8	237	-4,7
03.01.2001	49	276	1,3
16.01.2001	58	271	-6,7
09.05.2001	42	251	1,3
06.06.2001	41	245	1,3
23.07.2001	34	246	1,3
03.09.2001	30	238	1,3
25.10.2001	30	240	1,3
04.02.2002	25	240	1,3
11.06.2002	23	232	1,3
13.11.2002	40	240	1,3
24.11.2003	57	64	-9,7
13.09.2004	69	65	-9,7
03.05.2005	76	62	-9,7
18.07.2006	88	61	-10
14.06.2007	98	60	-11
27.05.2008	107	59	-11
20.04.2009	119	61	-11
19.04.2010	127	61	-11
01.06.2011	138	59	-11
06.09.2012	145	60	-11
14.05.2013	150	59	-11
11.03.2014	152	59	-11

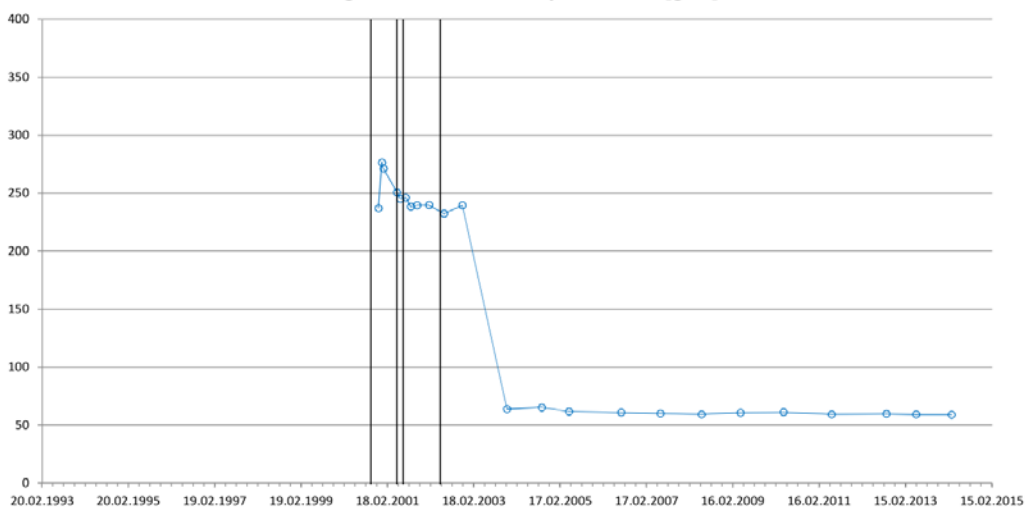
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

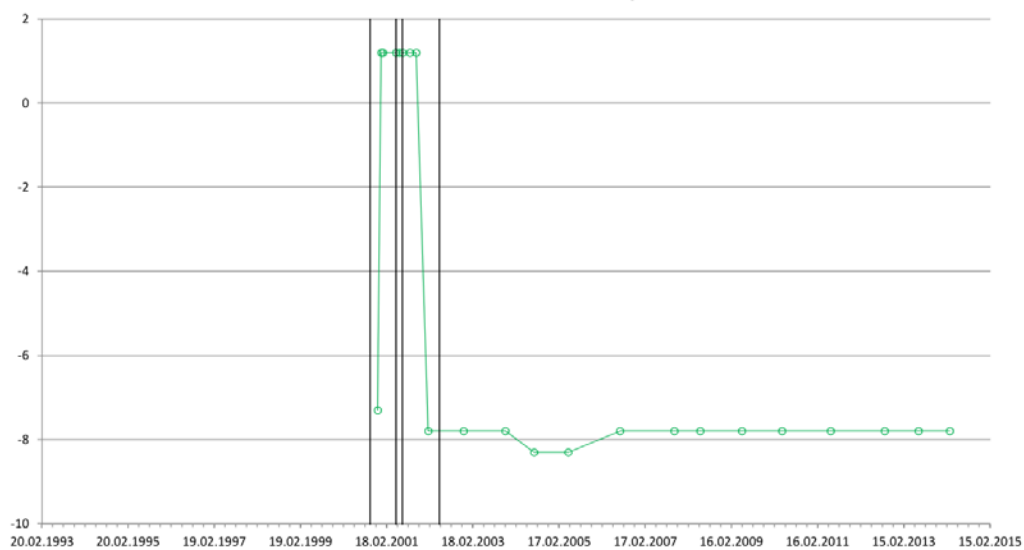
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

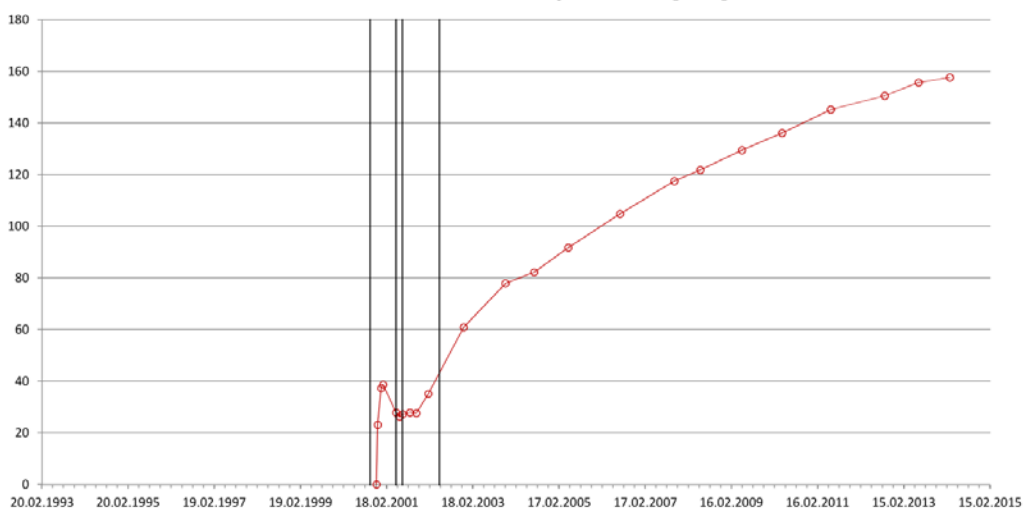
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
22.11.2000	0		
04.12.2000	23	206	-7,3
03.01.2001	37	174	1,2
18.01.2001	39	172	1,2
08.05.2001	28	162	1,2
06.06.2001	26	151	1,2
04.07.2001	27	150	1,2
03.09.2001	28	139	1,2
25.10.2001	28	144	1,2
04.02.2002	35	99	-7,8
02.12.2002	61	100	-7,8
21.11.2003	78	93	-7,8
21.07.2004	82	94	-8,3
04.05.2005	92	78	-8,3
18.07.2006	105	71	-7,8
22.10.2007	118	68	-7,8
27.05.2008	122	68	-7,8
14.05.2009	130	68	-7,8
20.04.2010	136	67	-7,8
06.06.2011	145	68	-7,8
06.09.2012	151	68	-7,8
19.06.2013	156	69	-7,8
11.03.2014	158	69	-7,8

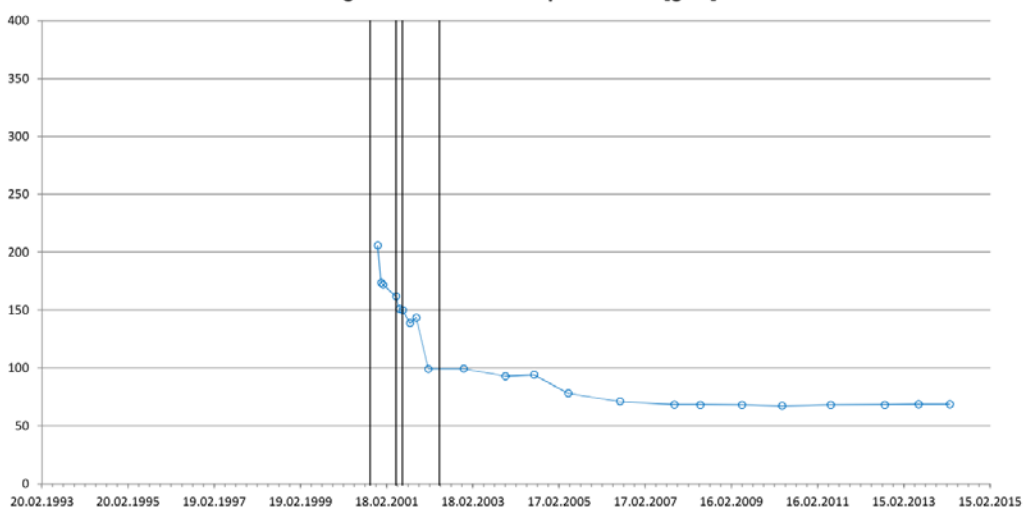
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

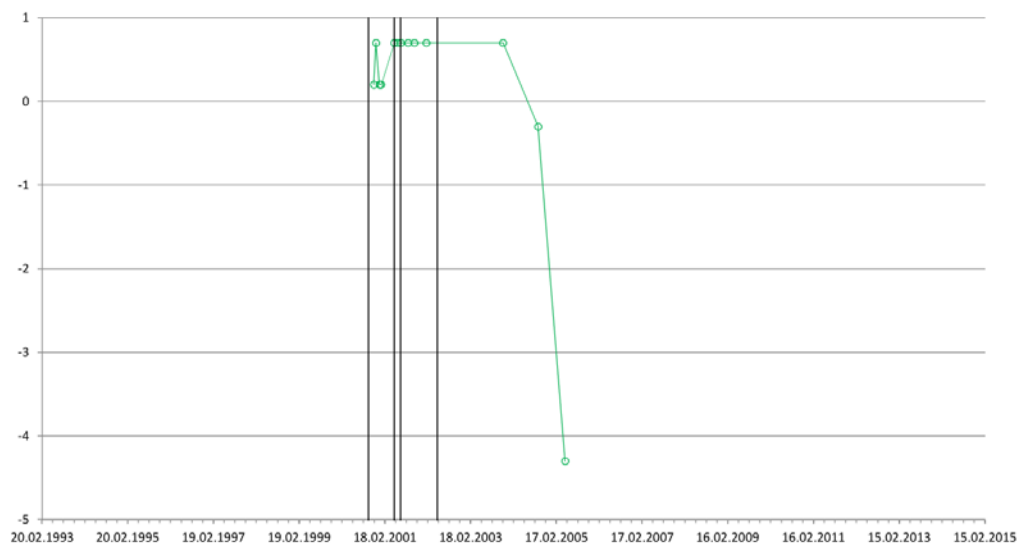
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

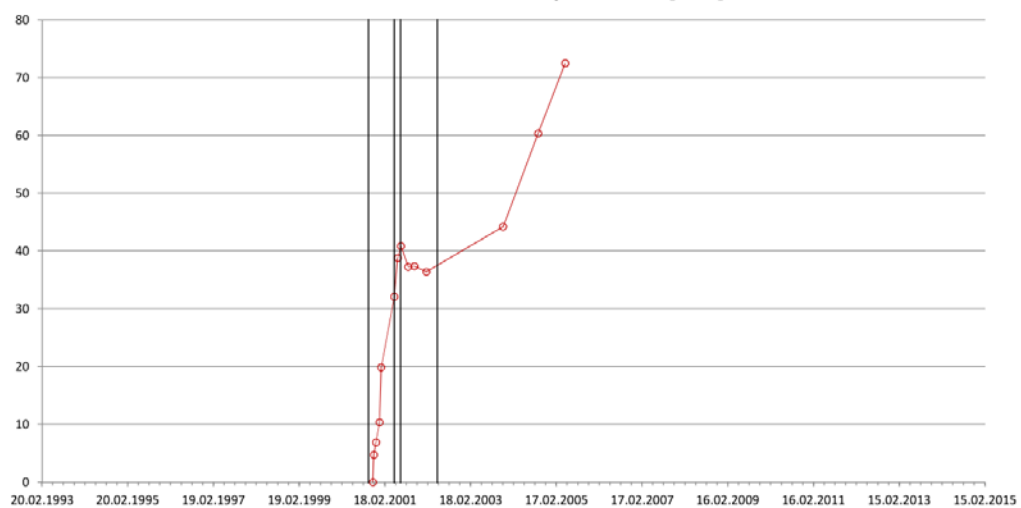
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
06.11.2000	0		
16.11.2000	5	68	0,2
04.12.2000	7	169	0,7
02.01.2001	10	65	0,2
17.01.2001	20	93	0,2
08.05.2001	32	195	0,7
06.06.2001	39	194	0,7
04.07.2001	41	192	0,7
04.09.2001	37	184	0,7
25.10.2001	37	186	0,7
04.02.2002	36	180	0,7
21.11.2003	44	162	0,7
15.09.2004	60	139	-0,3
02.05.2005	73	129	-4,3

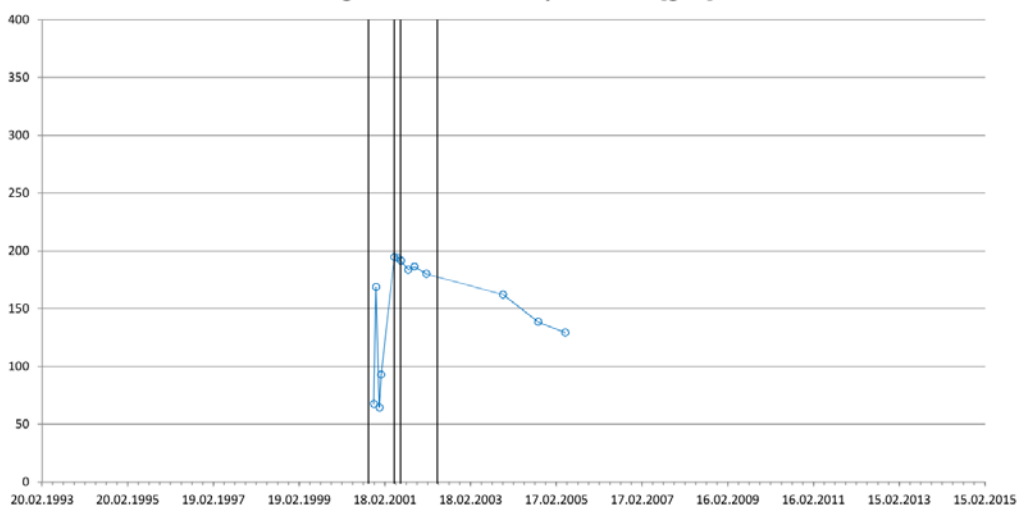
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



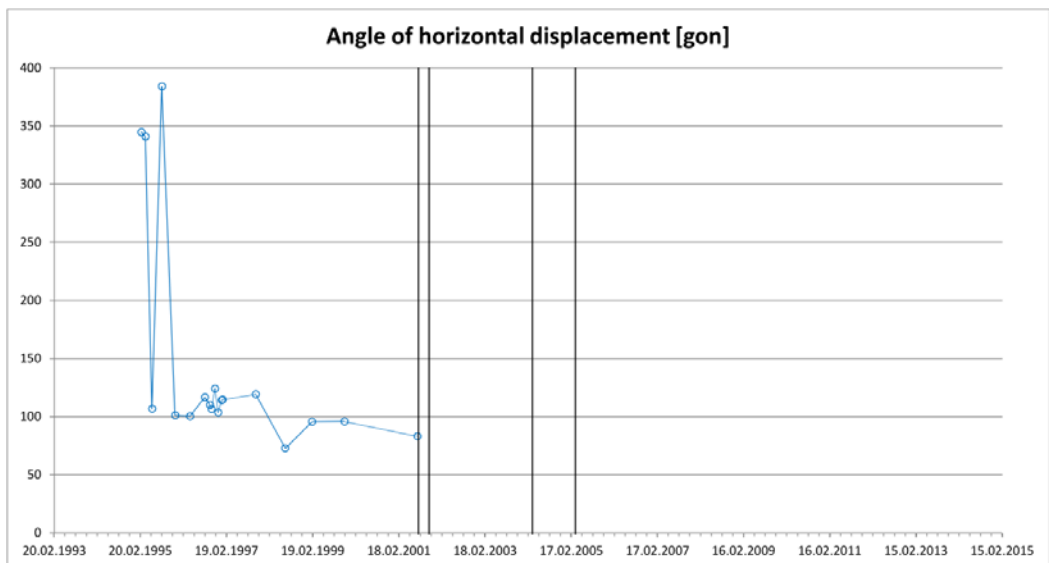
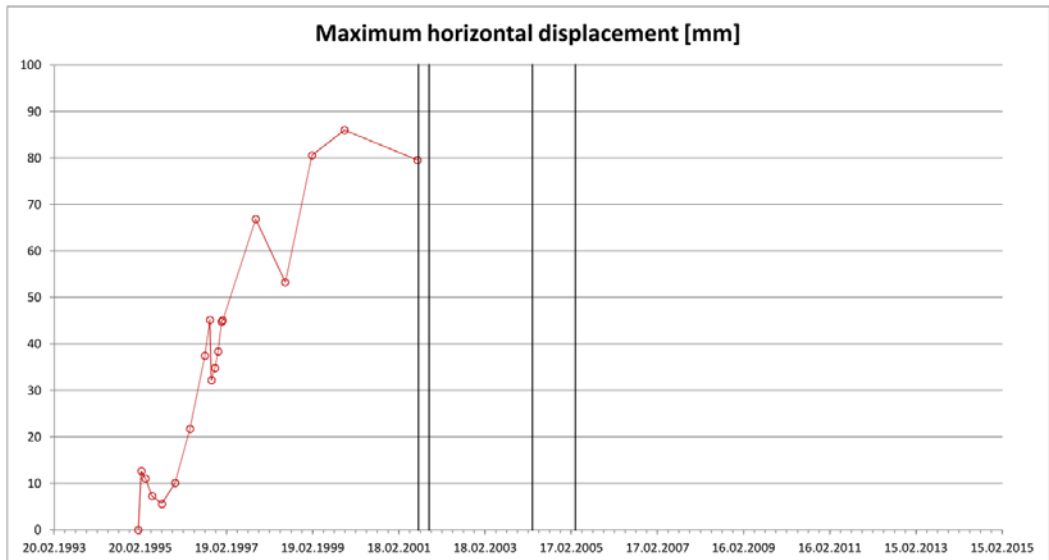
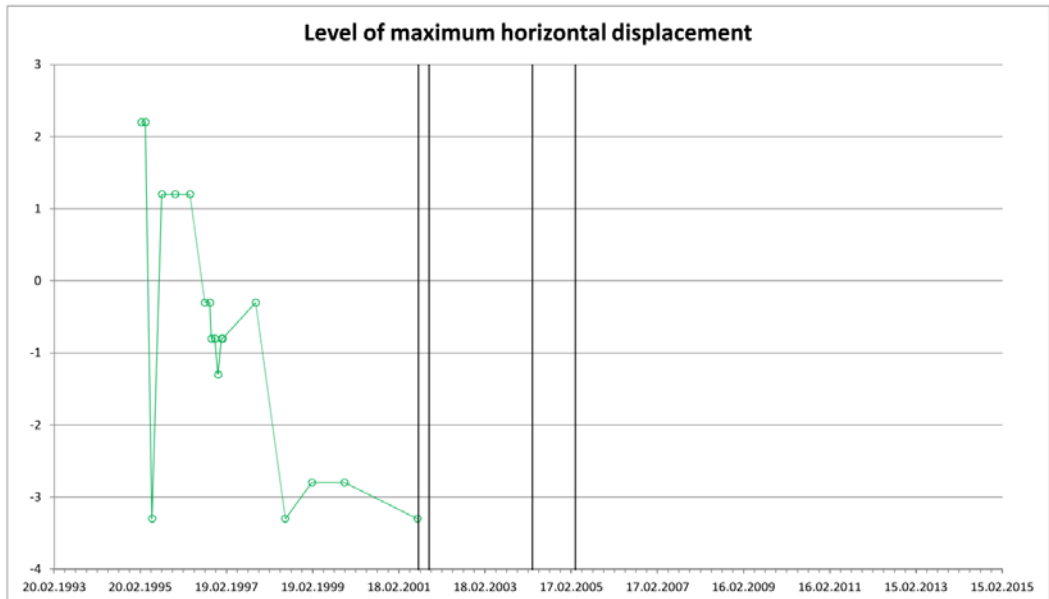
Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
03.02.1995	0		
01.03.1995	13	345	2,2
05.04.1995	11	341	2,2
30.05.1995	7	107	-3,3
22.08.1995	6	384	1,2
12.12.1995	10	101	1,2
16.04.1996	22	100	1,2
19.08.1996	37	117	-0,3
01.10.1996	45	110	-0,3
15.10.1996	32	107	-0,8
12.11.1996	35	124	-0,8
10.12.1996	38	104	-1,3
07.01.1997	45	114	-0,8
17.01.1997	45	115	-0,8
23.10.1997	67	119	-0,3
01.07.1998	53	73	-3,3
11.02.1999	81	96	-2,8
15.11.1999	86	96	-2,8
25.07.2001	80	83	-3,3

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400

East = 100

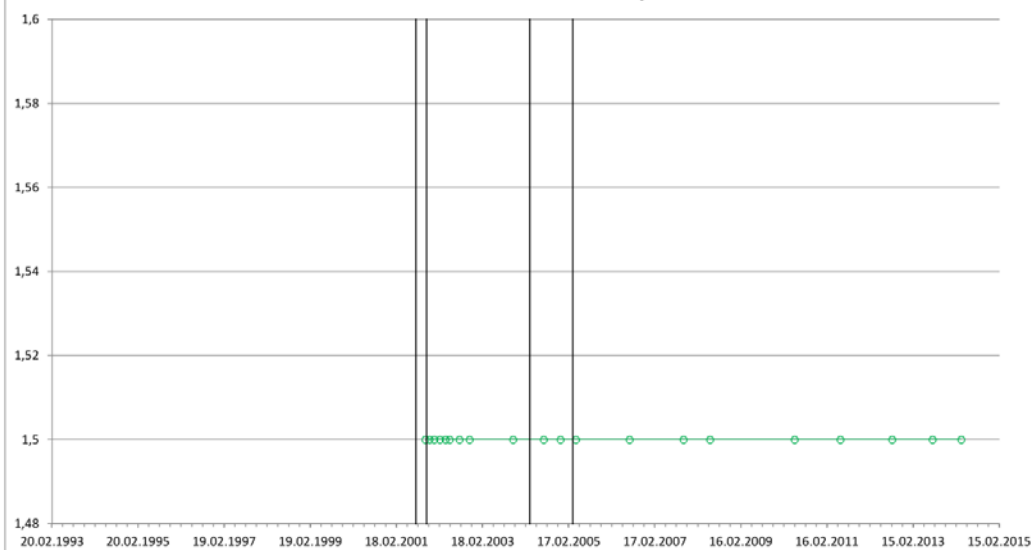
South = 200

West = 300

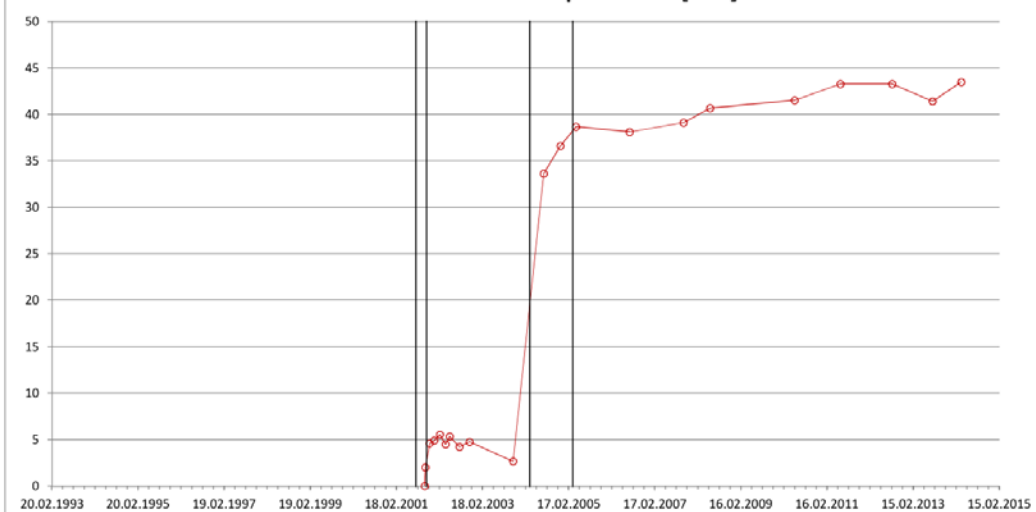
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
16.10.2001	0		
22.10.2001	2	322	1,5
26.11.2001	5	297	1,5
03.01.2002	5	275	1,5
20.02.2002	6	272	1,5
10.04.2002	4	281	1,5
15.05.2002	5	274	1,5
05.08.2002	4	272	1,5
31.10.2002	5	289	1,5
03.11.2003	3	262	1,5
19.07.2004	34	308	1,5
09.12.2004	37	311	1,5
20.04.2005	39	311	1,5
19.07.2006	38	315	1,5
18.10.2007	39	314	1,5
30.05.2008	41	312	1,5
17.05.2010	42	307	1,5
09.06.2011	43	306	1,5
20.08.2012	43	306	1,5
29.07.2013	41	306	1,5
28.03.2014	43	306	1,5

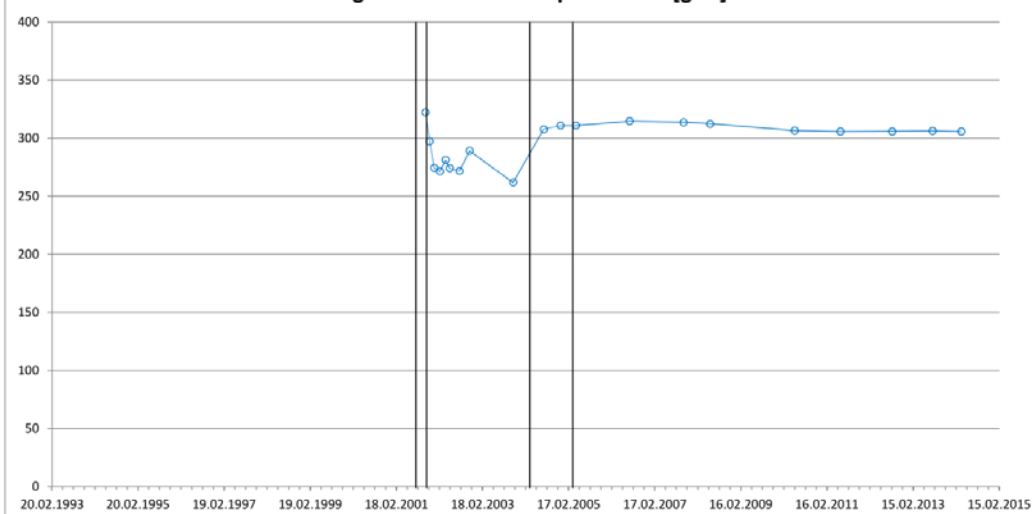
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



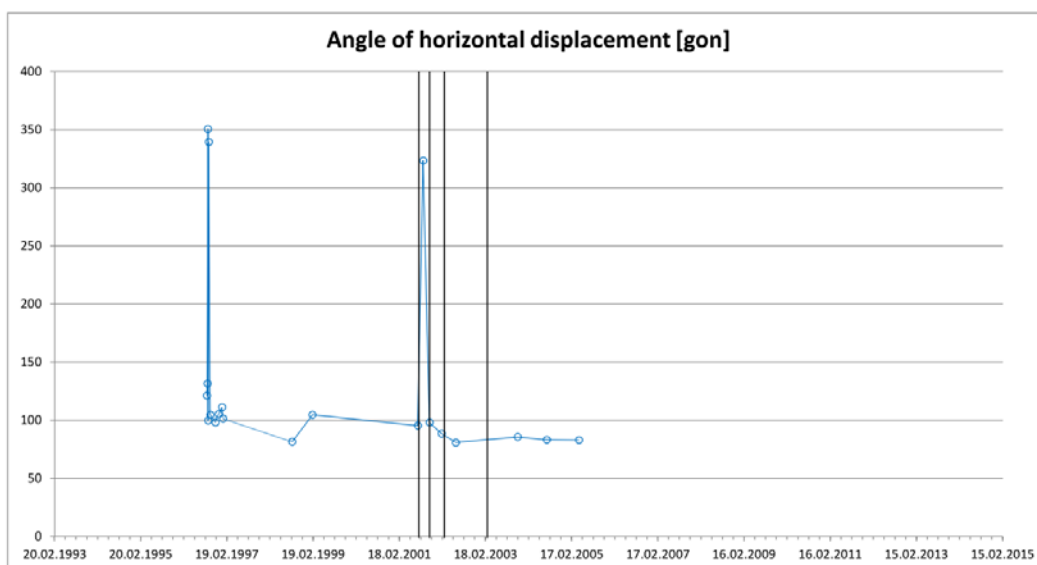
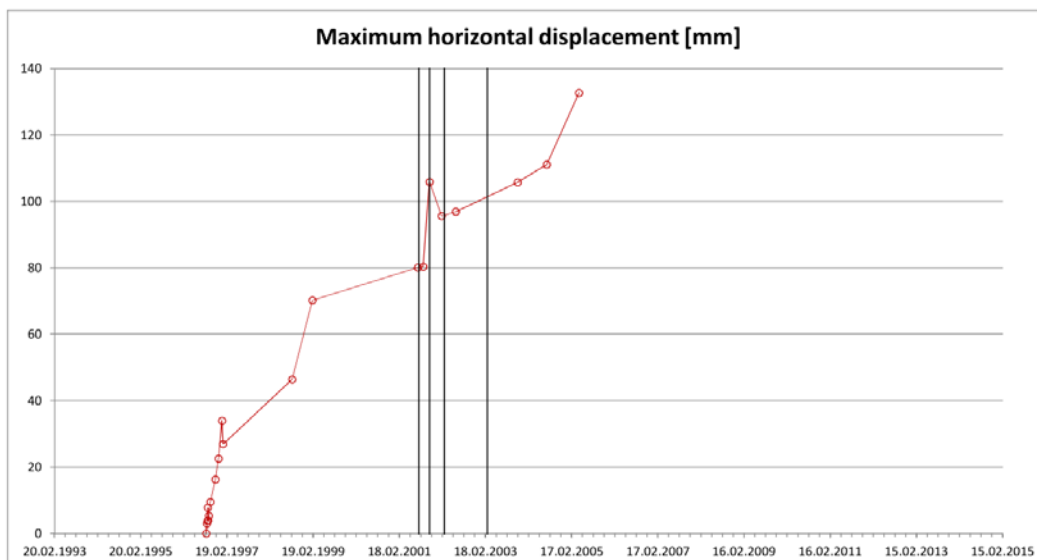
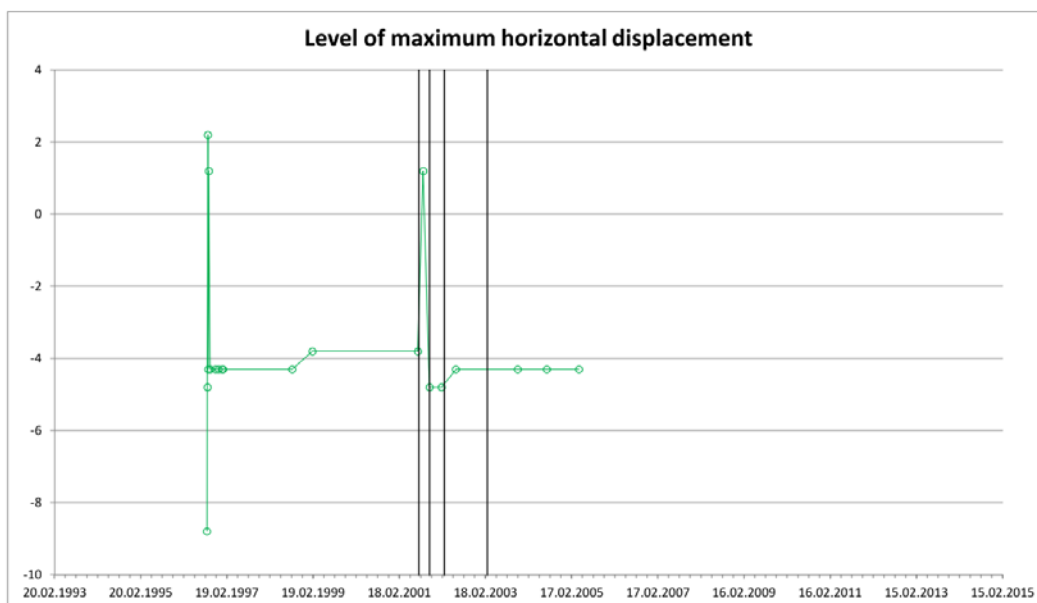
Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

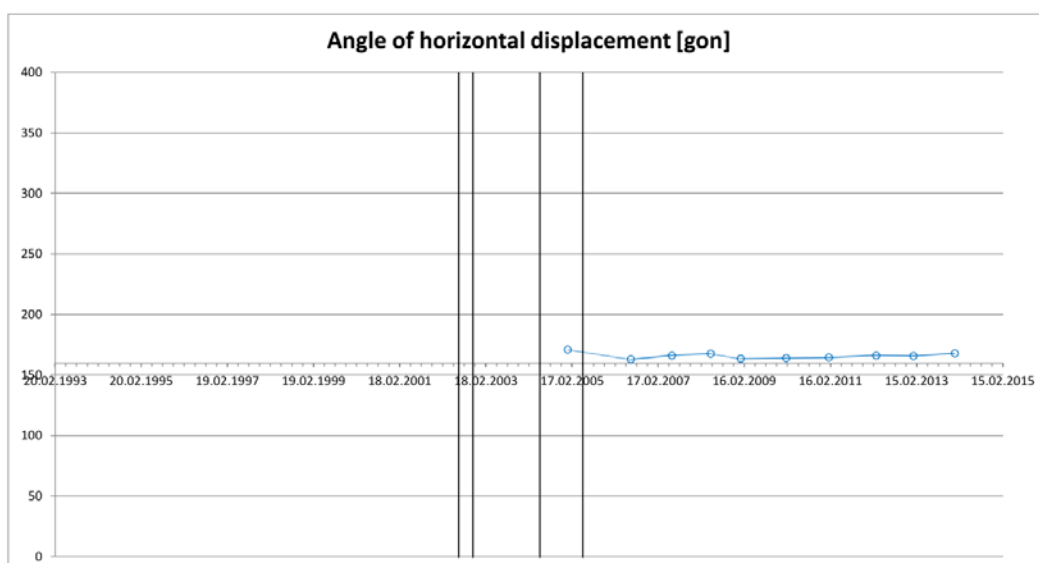
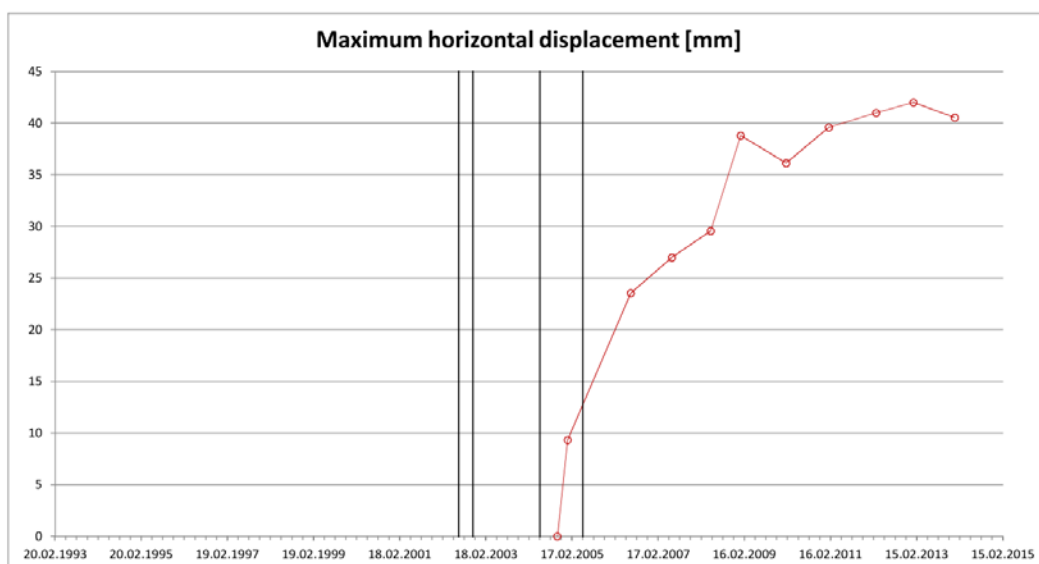
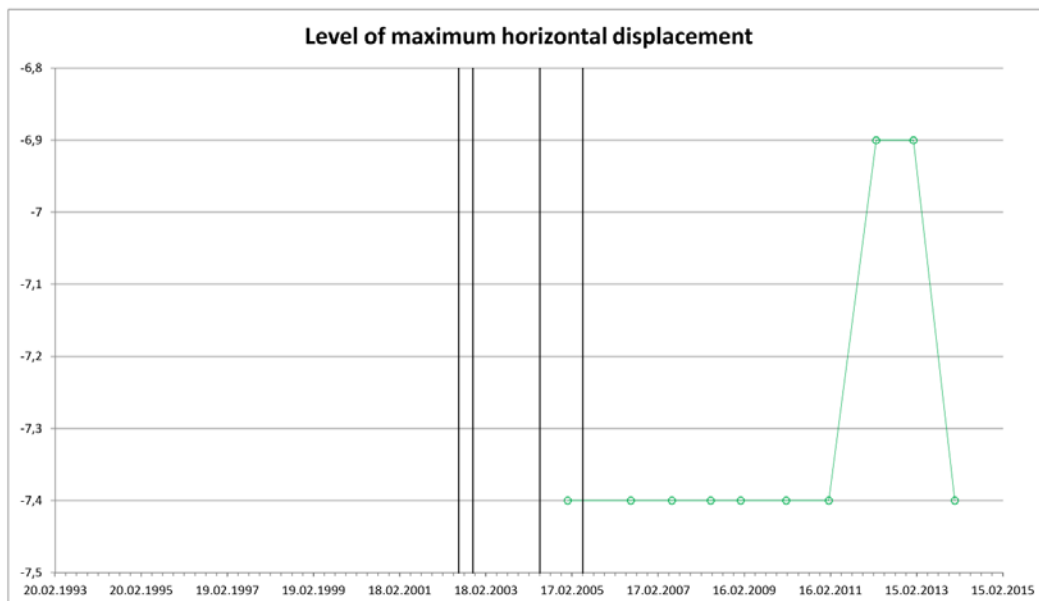
Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
27.08.1996	0		
03.09.1996	3	121	-8,8
06.09.1996	4	132	-4,8
11.09.1996	8	351	2,2
13.09.1996	4	100	-4,3
17.09.1996	5	340	1,2
01.10.1996	10	105	-4,3
12.11.1996	16	98	-4,3
10.12.1996	23	105	-4,3
07.01.1997	34	111	-4,3
17.01.1997	27	101	-4,3
24.08.1998	46	82	-4,3
11.02.1999	70	105	-3,8
25.07.2001	80	95	-3,8
07.09.2001	80	324	1,2
31.10.2001	106	98	-4,8
11.02.2002	96	89	-4,8
12.06.2002	97	81	-4,3
17.11.2003	106	86	-4,3
19.07.2004	111	83	-4,3
20.04.2005	133	83	-4,3

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

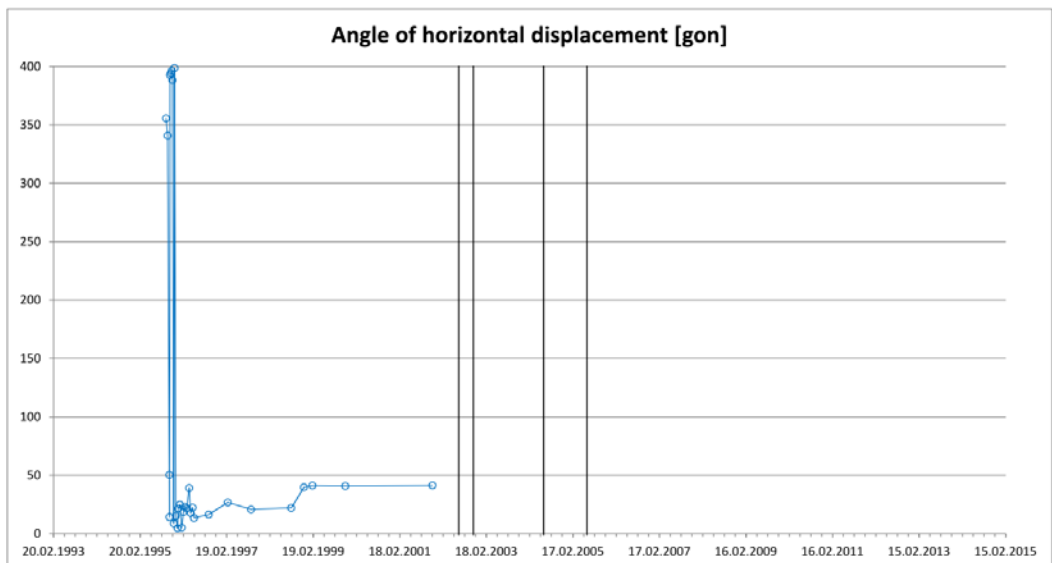
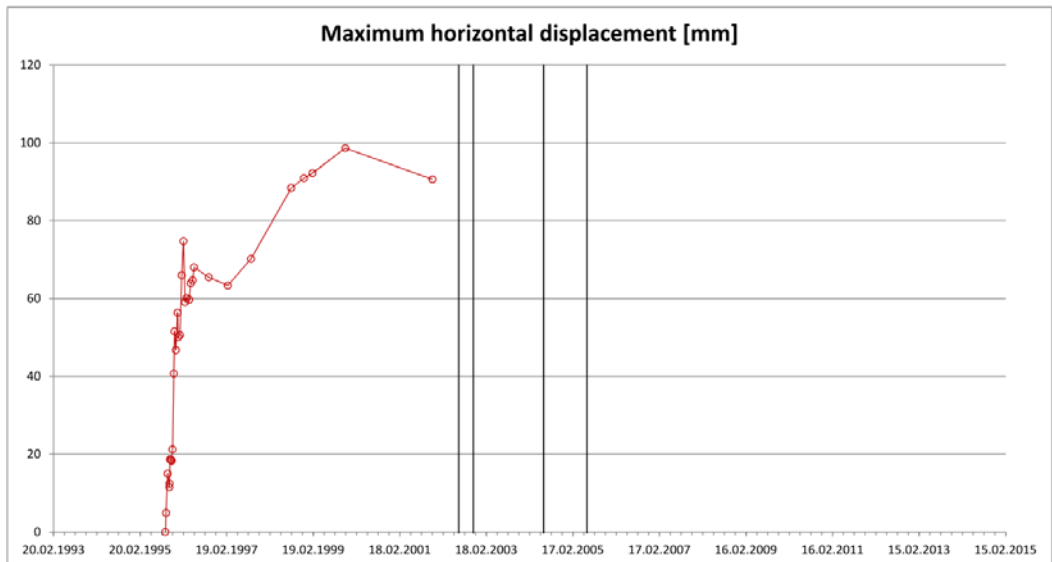
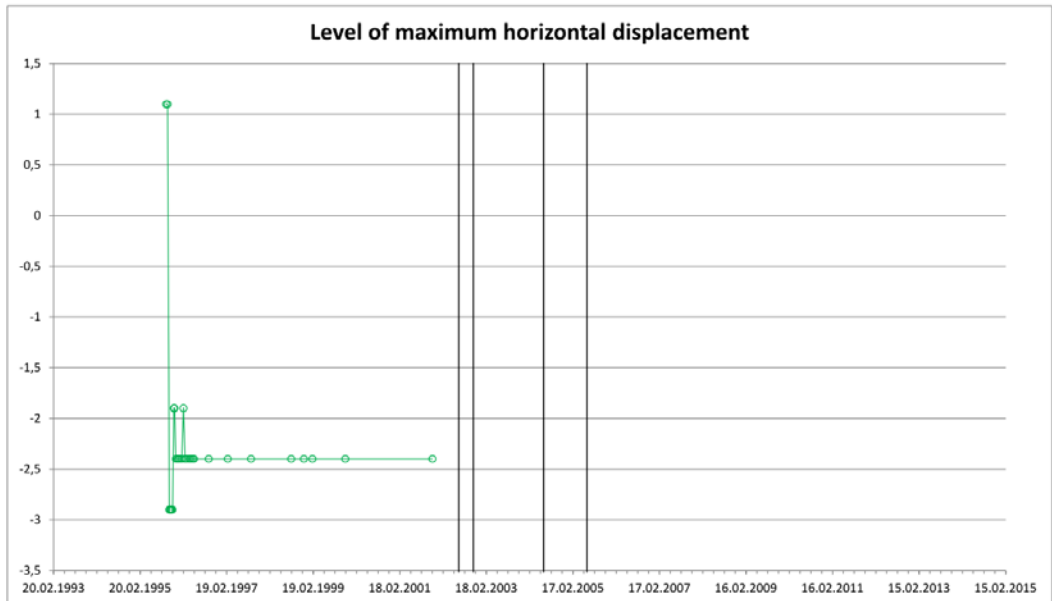
Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
15.10.2004	0		
10.01.2005	9	171	-7,4
28.06.2006	24	163	-7,4
11.06.2007	27	166	-7,4
06.05.2008	30	168	-7,4
16.01.2009	39	163	-7,4
05.02.2010	36	164	-7,4
01.02.2011	40	165	-7,4
07.03.2012	41	166	-6,9
18.01.2013	42	166	-6,9
02.01.2014	41	168	-7,4

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
21.09.1995	0		
27.09.1995	5	356	1,1
10.10.1995	15	341	1,1
24.10.1995	12	51	-2,9
26.10.1995	12	14	-2,9
30.10.1995	19	393	-2,9
06.11.1995	19	394	-2,9
13.11.1995	18	396	-2,9
20.11.1995	21	388	-2,9
01.12.1995	41	9	-1,9
07.12.1995	52	399	-1,9
18.12.1995	47	15	-2,4
02.01.1996	56	5	-2,4
08.01.1996	50	22	-2,4
22.01.1996	51	25	-2,4
06.02.1996	66	5	-2,4
20.02.1996	75	19	-1,9
05.03.1996	59	23	-2,4
18.03.1996	60	22	-2,4
09.04.1996	60	39	-2,4
22.04.1996	64	18	-2,4
07.05.1996	65	22	-2,4
20.05.1996	68	13	-2,4
20.09.1996	65	16	-2,4
28.02.1997	63	27	-2,4
12.09.1997	70	21	-2,4
17.08.1998	88	22	-2,4
03.12.1998	91	40	-2,4
12.02.1999	92	41	-2,4
16.11.1999	99	41	-2,4
20.11.2001	91	41	-2,4

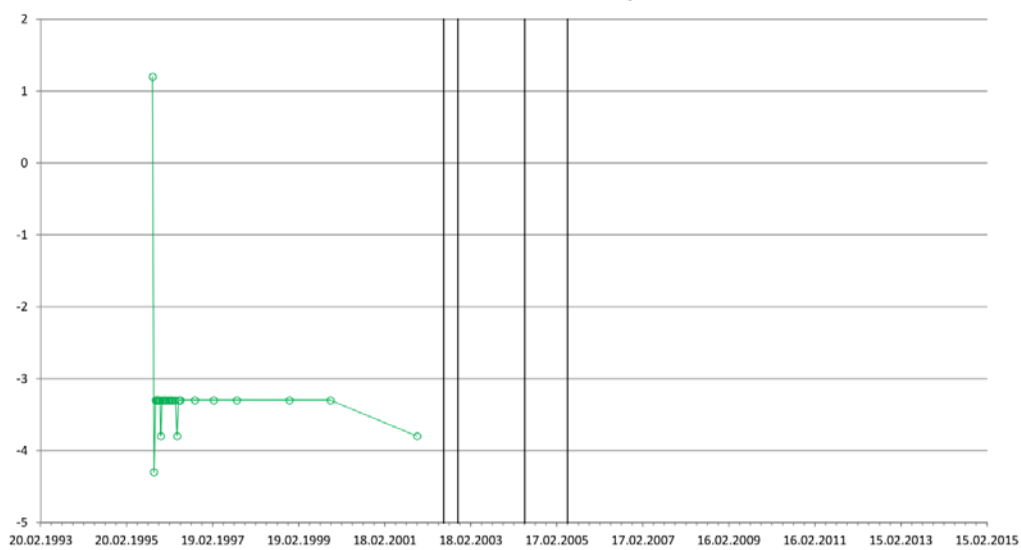
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

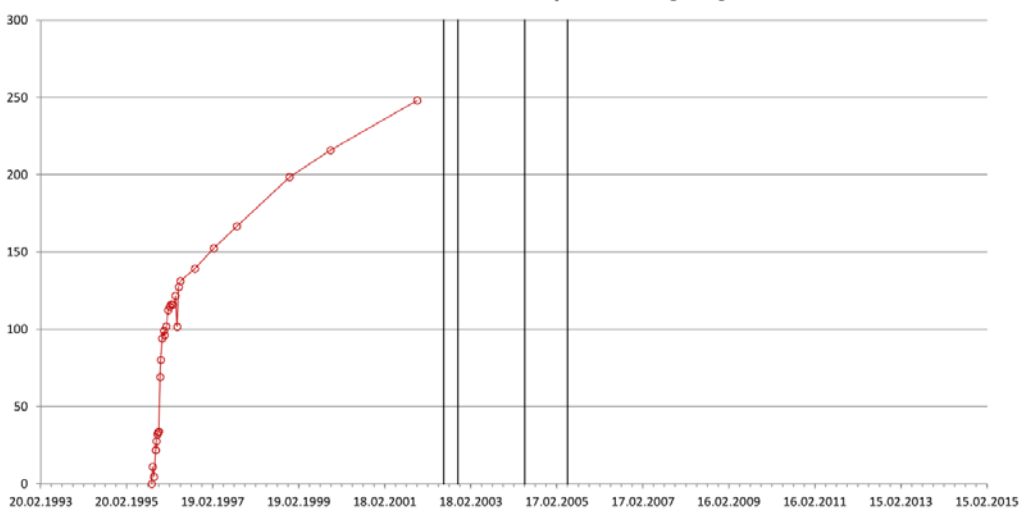
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
21.09.1995	0		
27.09.1995	11	339	1,2
10.10.1995	5	327	-4,3
24.10.1995	22	21	-3,3
26.10.1995	22	9	-3,3
30.10.1995	27	395	-3,3
06.11.1995	32	392	-3,3
13.11.1995	33	395	-3,3
20.11.1995	34	394	-3,3
30.11.1995	69	392	-3,3
07.12.1995	80	392	-3,8
18.12.1995	94	4	-3,3
02.01.1996	99	394	-3,3
08.01.1996	96	4	-3,3
22.01.1996	102	6	-3,3
05.02.1996	112	395	-3,3
20.02.1996	115	2	-3,3
05.03.1996	116	6	-3,3
18.03.1996	116	10	-3,3
09.04.1996	122	10	-3,3
23.04.1996	102	398	-3,8
07.05.1996	127	3	-3,3
20.05.1996	131	1	-3,3
20.09.1996	139	1	-3,3
28.02.1997	152	5	-3,3
12.09.1997	167	6	-3,3
03.12.1998	199	8	-3,3
15.11.1999	216	9	-3,3
20.11.2001	248	7	-3,8

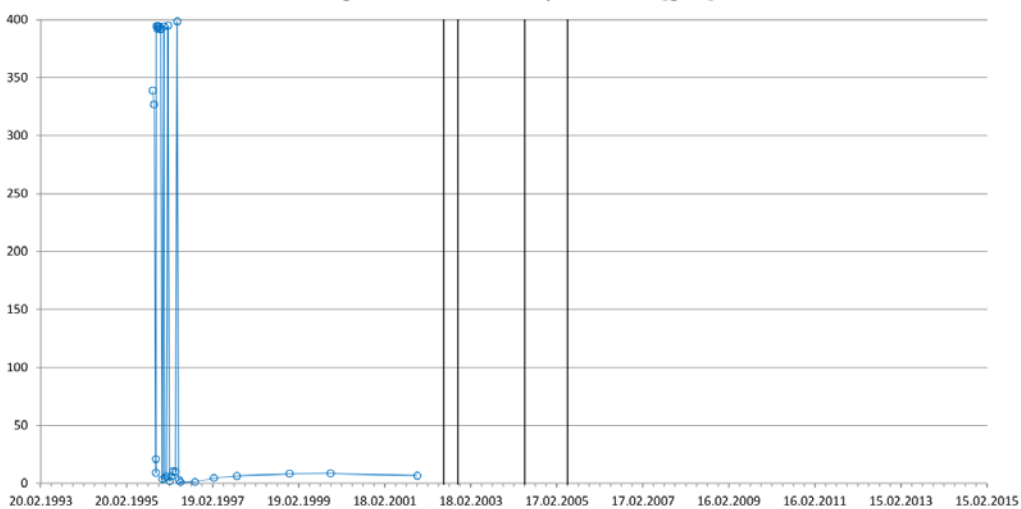
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]



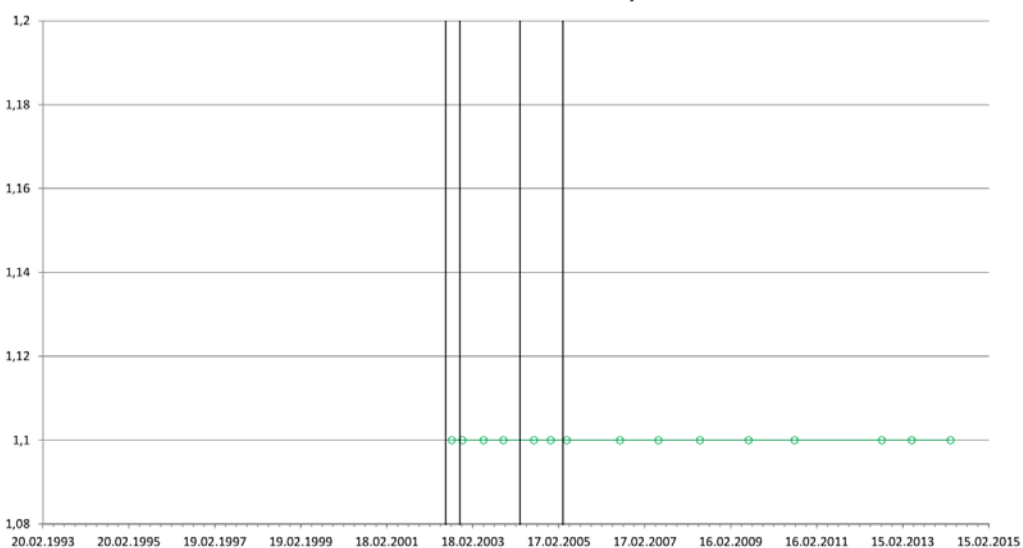
Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

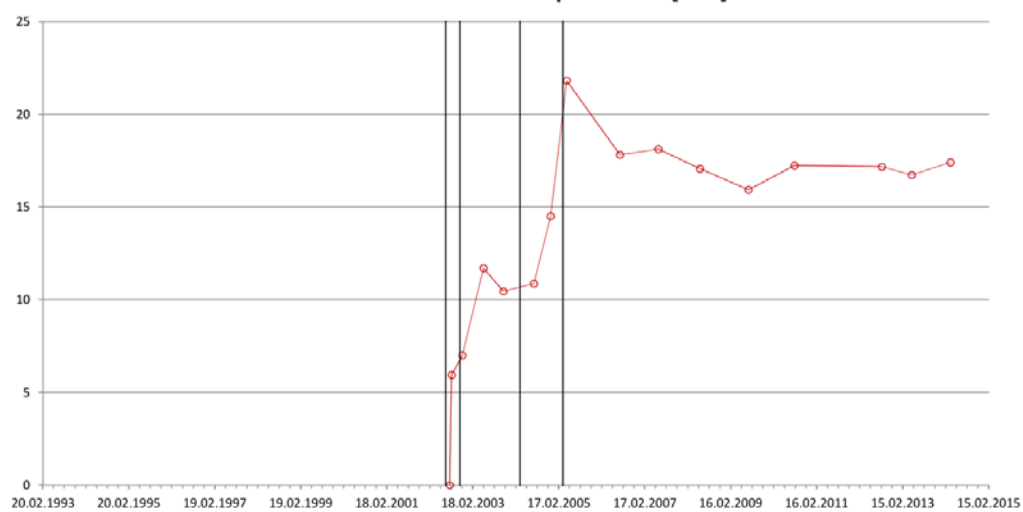
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
05.08.2002	0		
21.08.2002	6	208	1,1
21.11.2002	7	191	1,1
20.05.2003	12	168	1,1
03.11.2003	10	171	1,1
21.07.2004	11	183	1,1
09.12.2004	15	203	1,1
25.04.2005	22	211	1,1
20.07.2006	18	193	1,1
11.06.2007	18	194	1,1
30.05.2008	17	196	1,1
17.07.2009	16	194	1,1
11.08.2010	17	201	1,1
20.08.2012	17	199	1,1
02.05.2013	17	201	1,1
26.03.2014	17	204	1,1

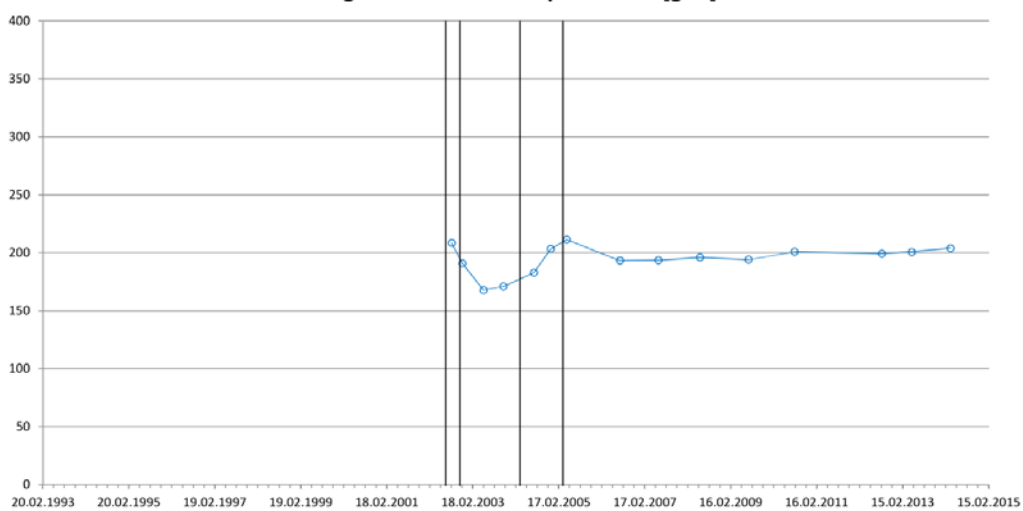
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]



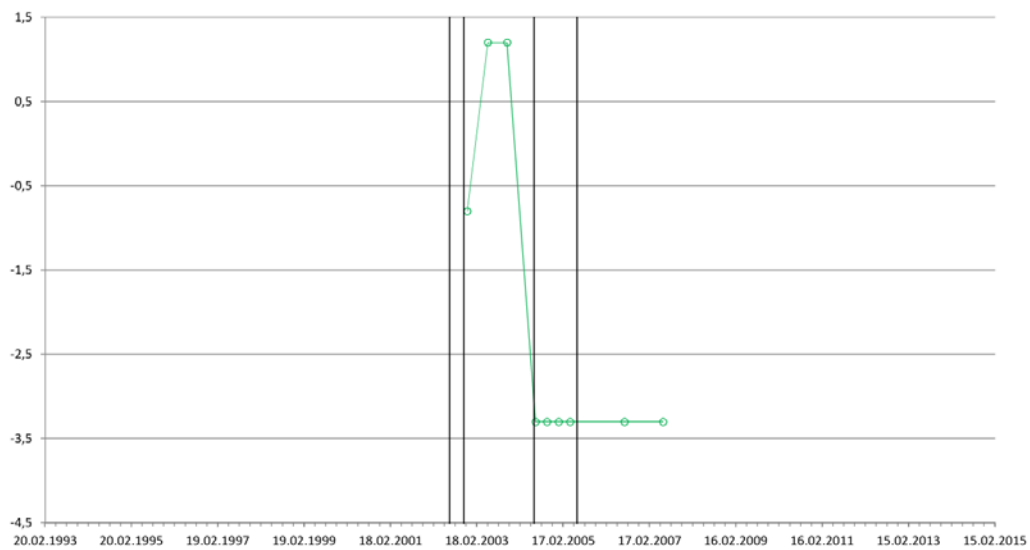
Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

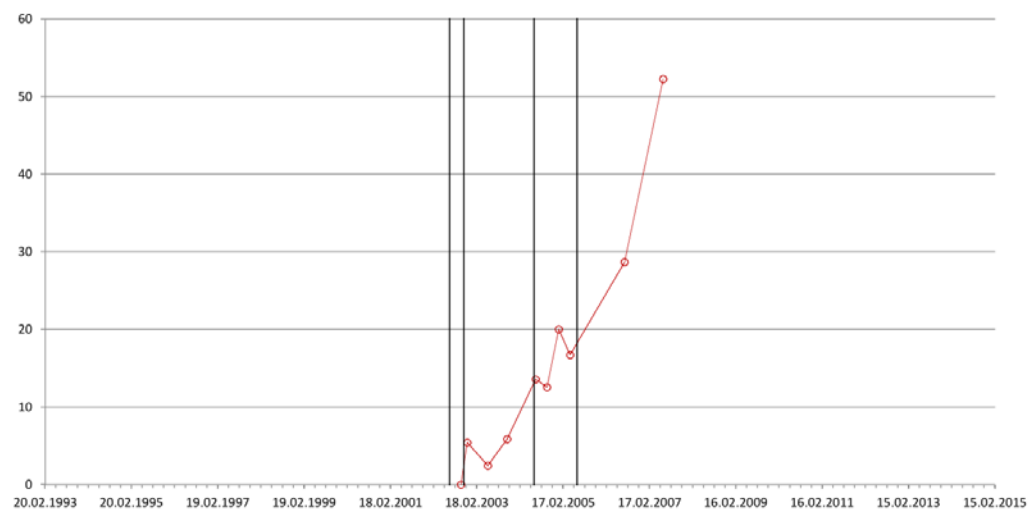
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
07.10.2002	0		
28.11.2002	5	27	-0,8
21.05.2003	2	251	1,2
31.10.2003	6	289	1,2
28.06.2004	14	79	-3,3
04.10.2004	13	95	-3,3
10.01.2005	20	113	-3,3
15.04.2005	17	106	-3,3
20.07.2006	29	99	-3,3
11.06.2007	52	99	-3,3

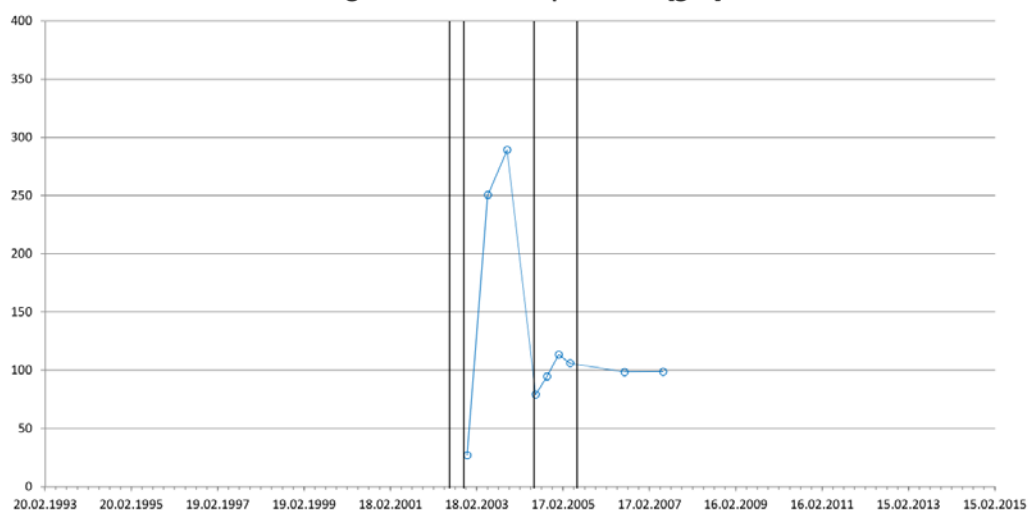
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

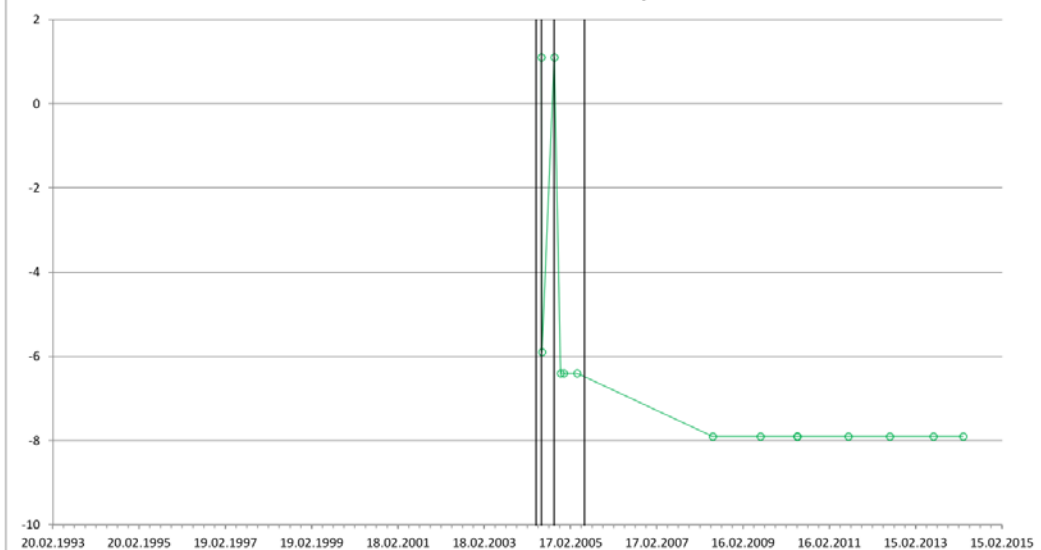
North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

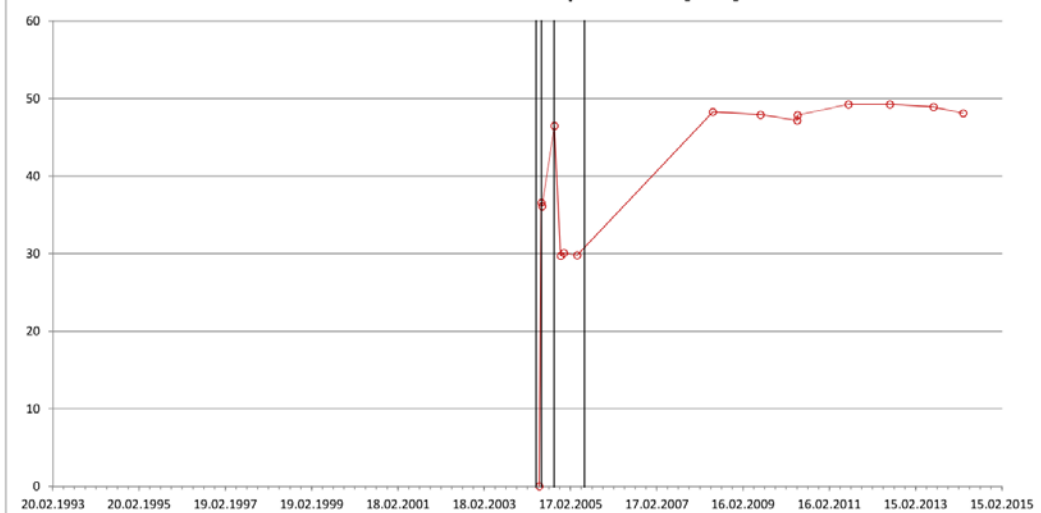
Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
27.05.2004	0		
14.06.2004	37	115	1,1
21.06.2004	36	117	-5,9
04.10.2004	46	5	1,1
25.11.2004	30	120	-6,4
23.12.2004	30	120	-6,4
13.04.2005	30	120	-6,4
03.06.2008	48	108	-7,9
14.07.2009	48	106	-7,9
20.05.2010	47	105	-7,9
21.05.2010	48	107	-7,9
27.07.2011	49	103	-7,9
10.07.2012	49	103	-7,9
16.07.2013	49	101	-7,9
25.03.2014	48	101	-7,9

Error noticed at measurement in 2007. Error was left out of these results.

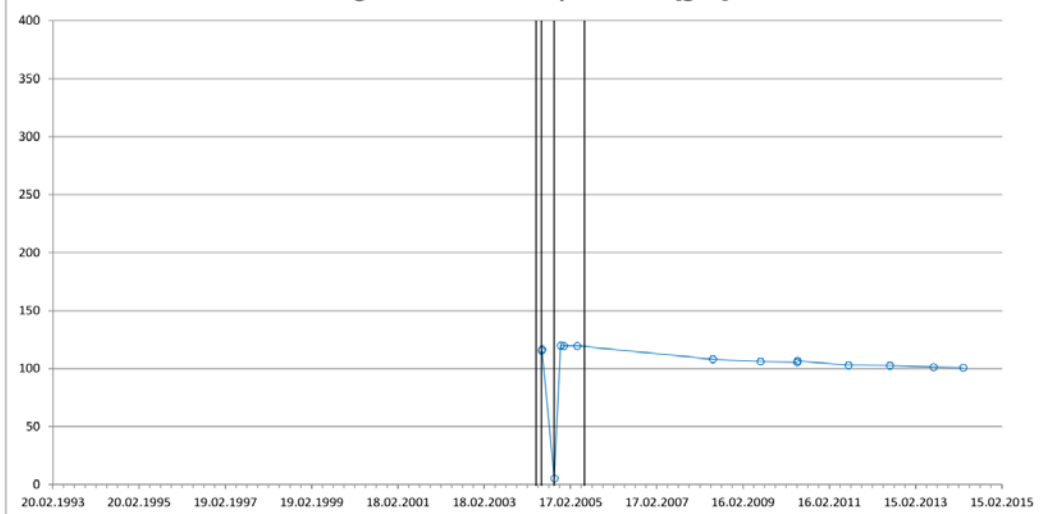
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



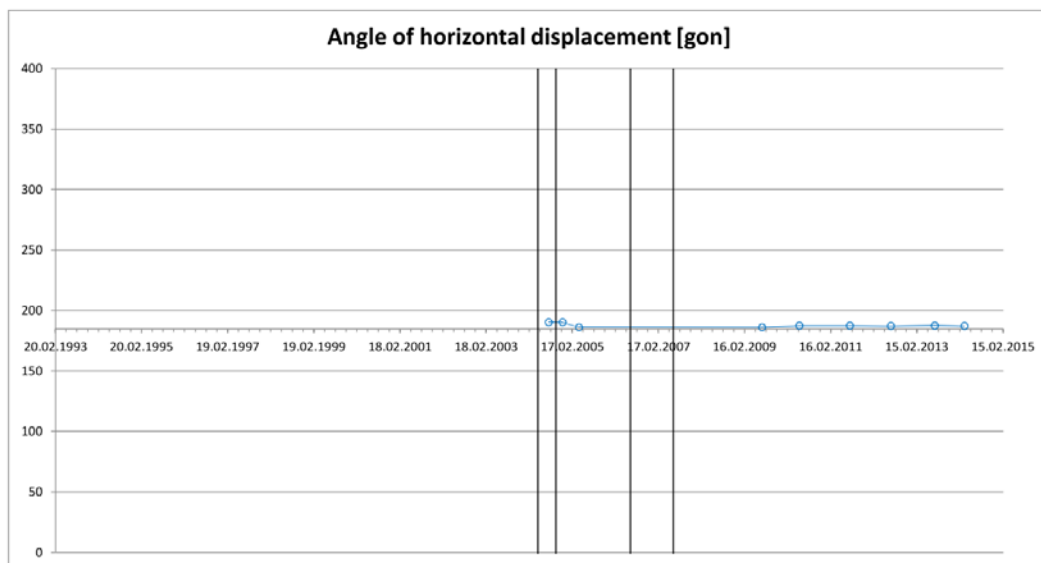
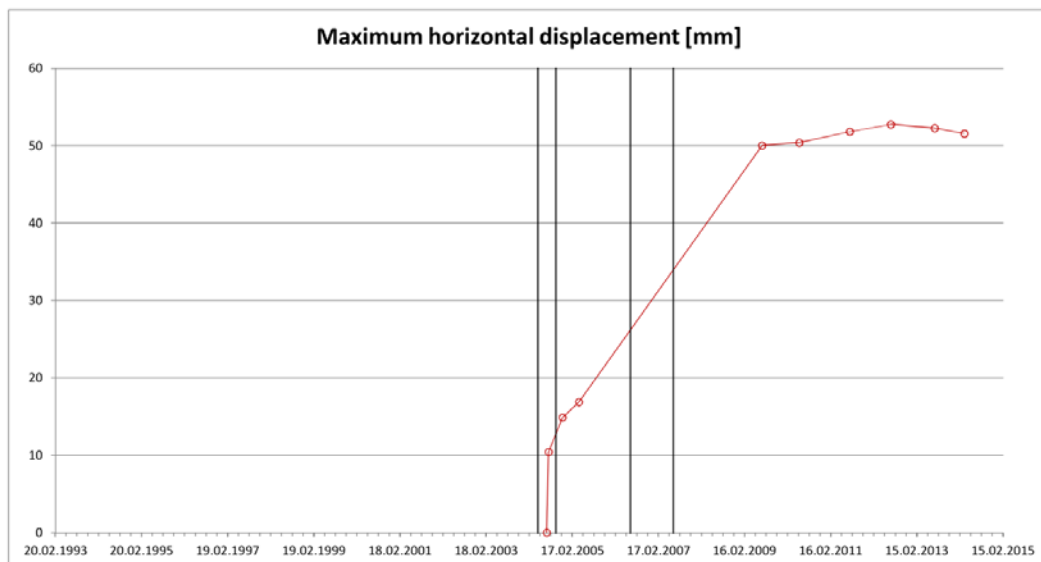
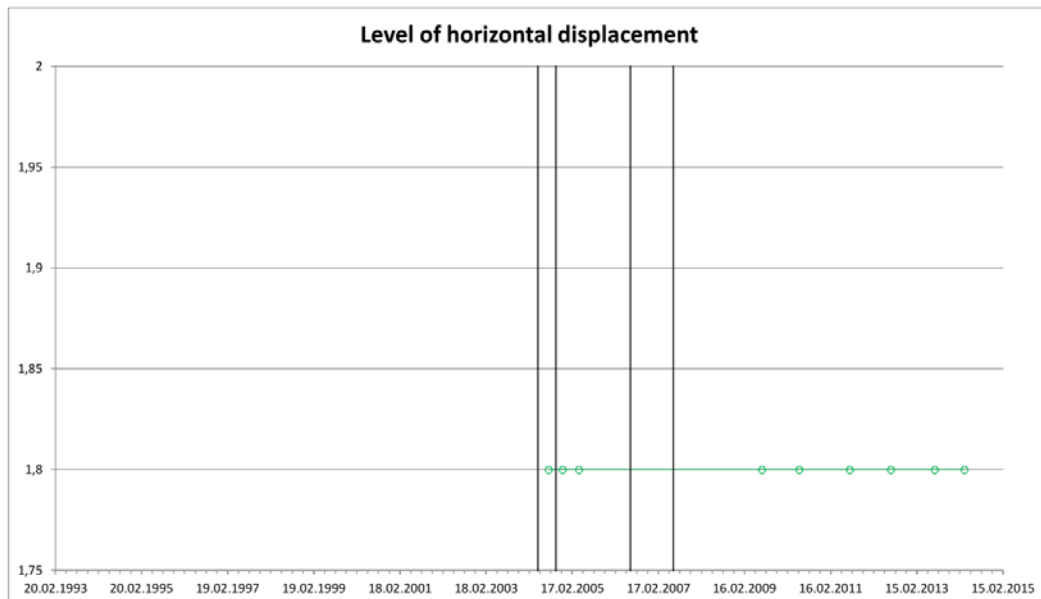
Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

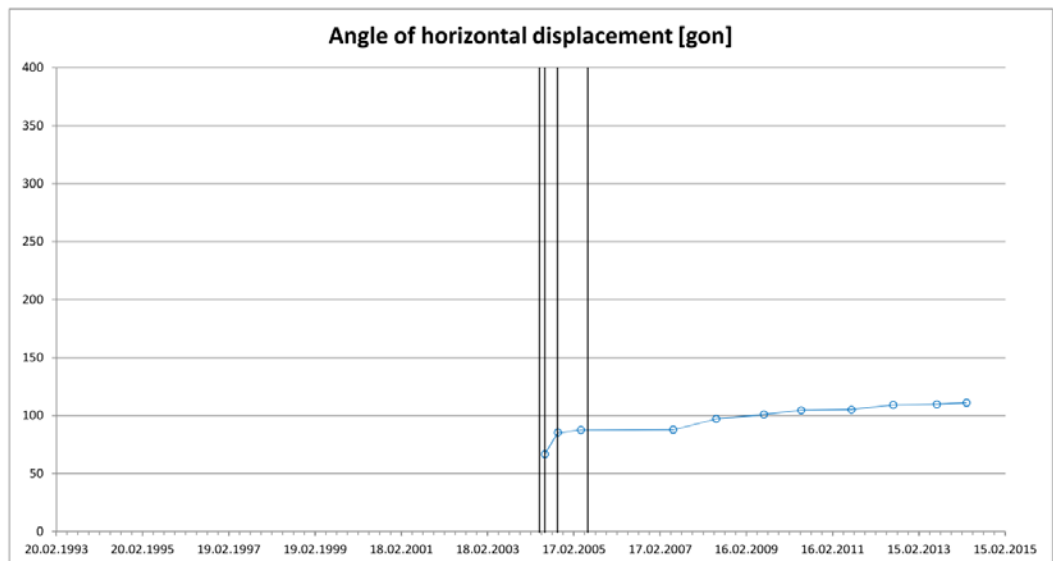
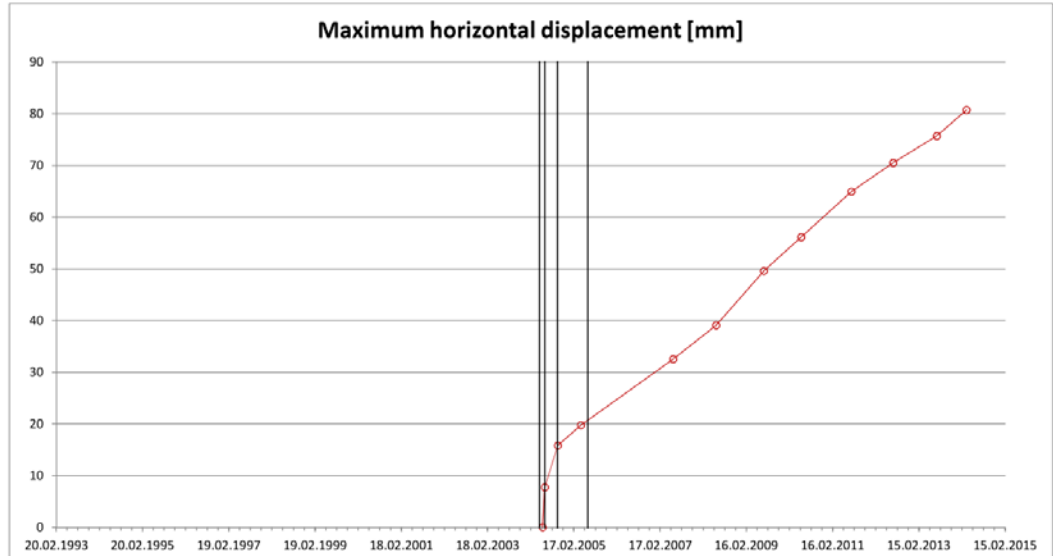
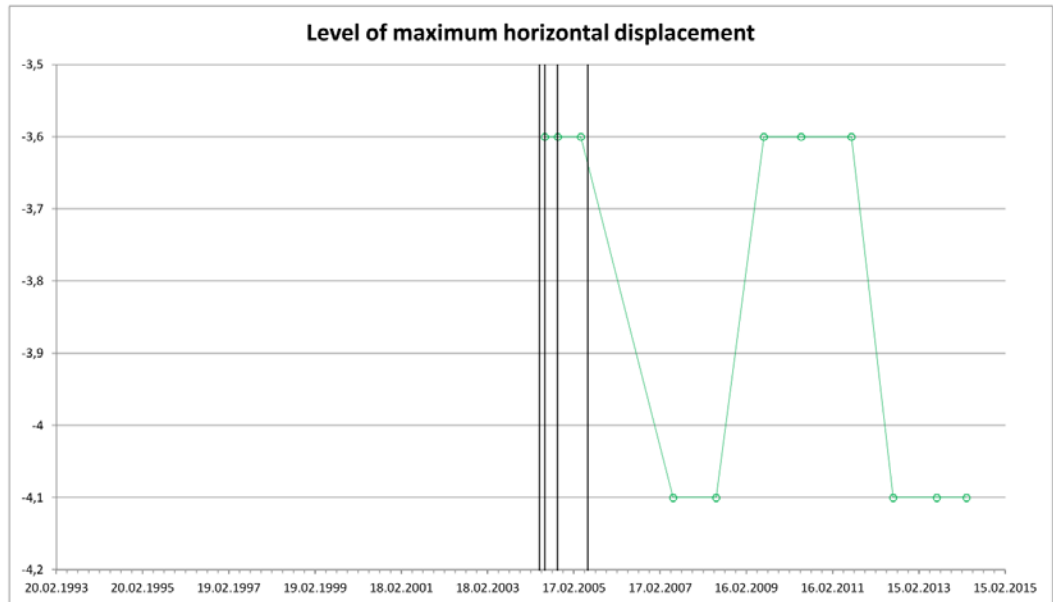
Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
14.07.2004	0		
30.07.2004	10	190	1,8
26.11.2004	15	190	1,8
14.04.2005	17	186	1,8
14.07.2009	50	186	1,8
24.05.2010	50	188	1,8
26.07.2011	52	188	1,8
09.07.2012	53	187	1,8
15.07.2013	52	188	1,8
24.03.2014	52	187	1,8

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
27.05.2004	0		
14.06.2004	8	67	-3,6
04.10.2004	16	85	-3,6
15.04.2005	20	87	-3,6
07.06.2007	33	88	-4,1
03.06.2008	39	97	-4,1
14.07.2009	50	101	-3,6
24.05.2010	56	105	-3,6
25.07.2011	65	105	-3,6
10.07.2012	71	109	-4,1
15.07.2013	76	110	-4,1
25.03.2014	81	111	-4,1

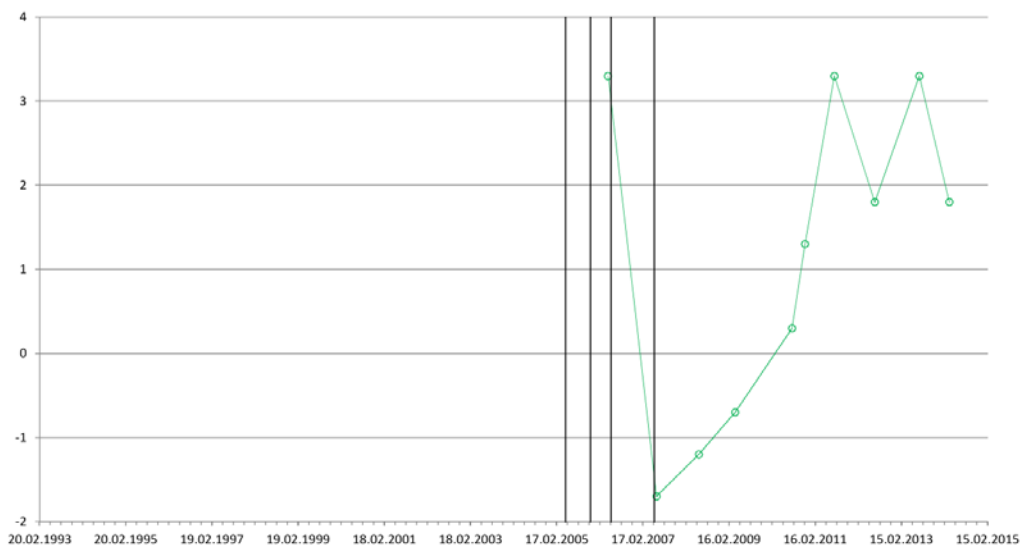


Angle directions [gon]:
 North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

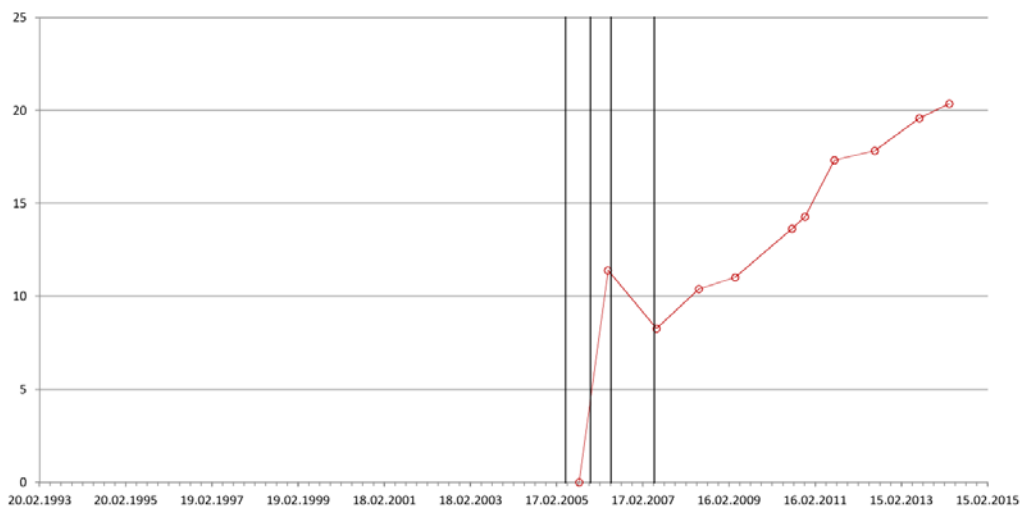
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
25.08.2005	0		
27.04.2006	11	224	3,3
11.06.2007	8	34	-1,7
05.06.2008	10	37	-1,2
07.04.2009	11	36	-0,7
02.08.2010	14	36	0,3
19.11.2010	14	36	1,3
27.07.2011	17	35	3,3
03.07.2012	18	38	1,8
16.07.2013	20	36	3,3
27.03.2014	20	37	1,8

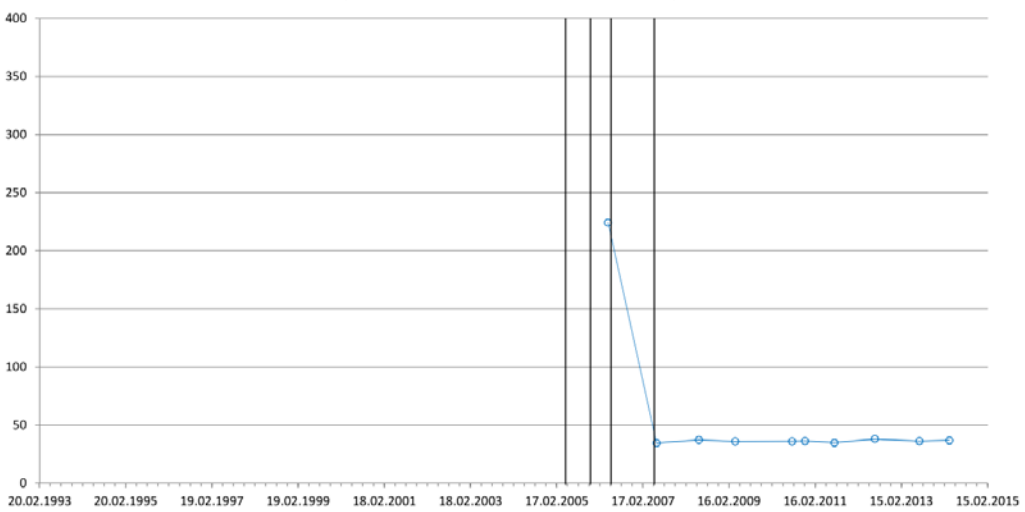
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



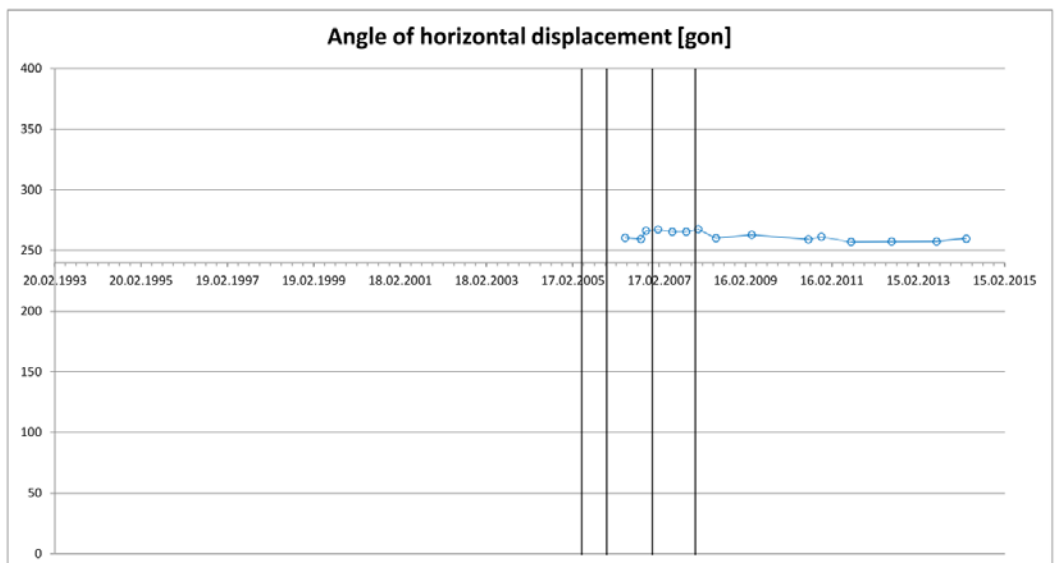
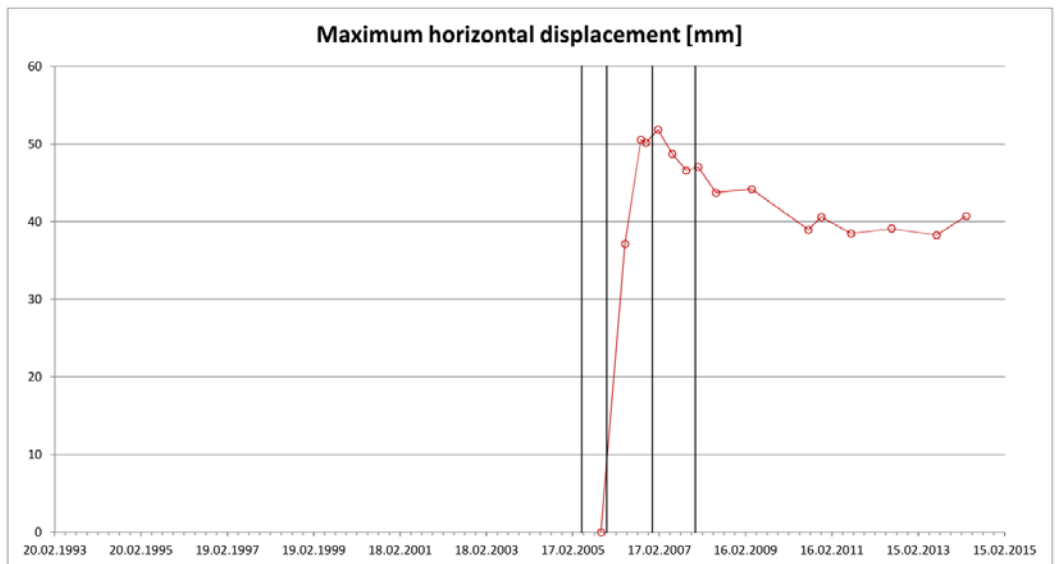
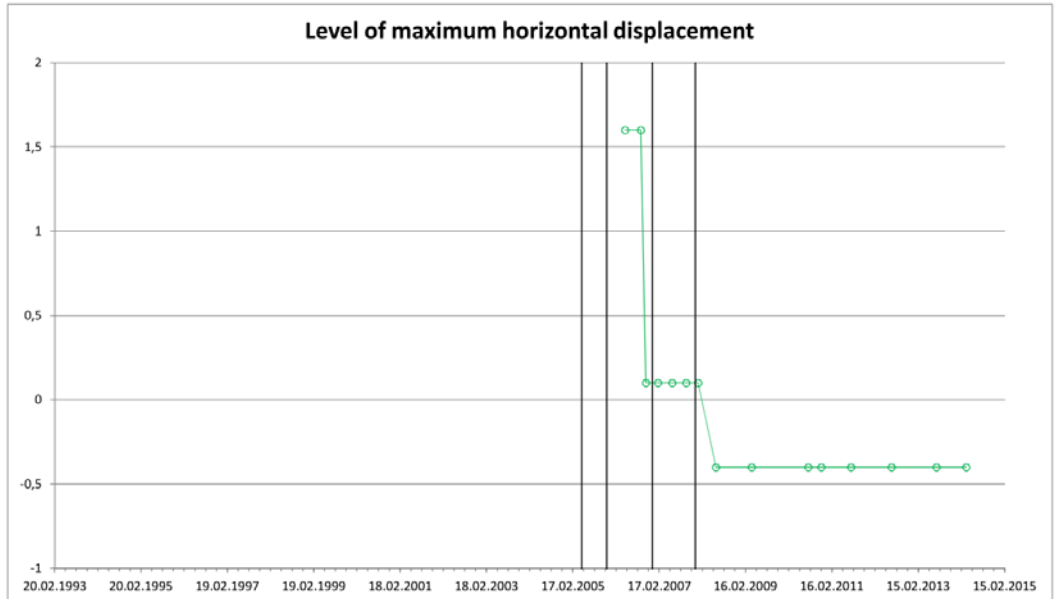
Angle of horizontal displacement [gon]

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
13.10.2005	0		
03.05.2006	37	261	1,6
15.09.2006	51	260	1,6
26.10.2006	50	266	0,1
05.02.2007	52	267	0,1
06.06.2007	49	266	0,1
01.10.2007	47	266	0,1
11.01.2008	47	268	0,1
09.06.2008	44	260	-0,4
07.04.2009	44	263	-0,4
30.07.2010	39	259	-0,4
18.11.2010	41	261	-0,4
27.07.2011	38	257	-0,4
02.07.2012	39	257	-0,4
17.07.2013	38	257	-0,4
27.03.2014	41	260	-0,4

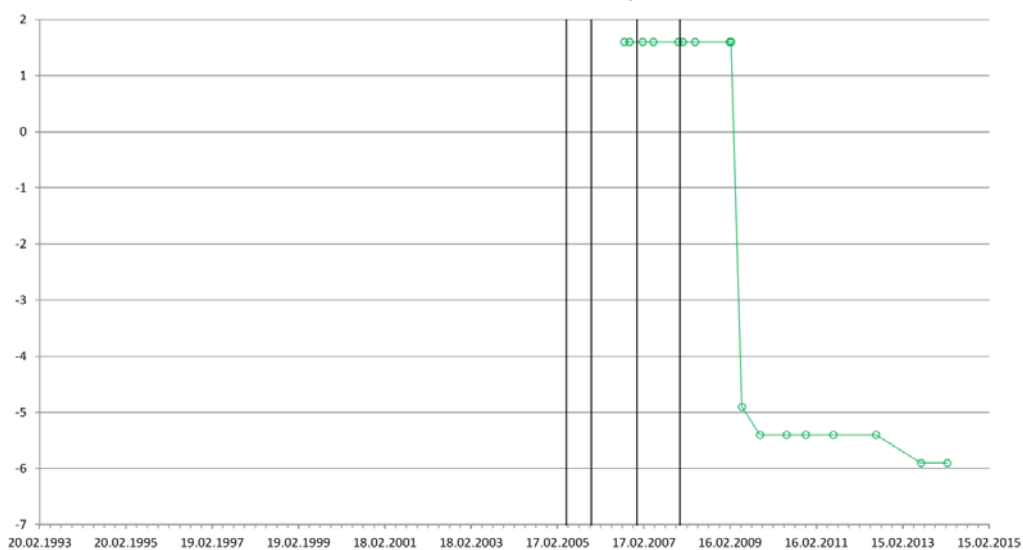
**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

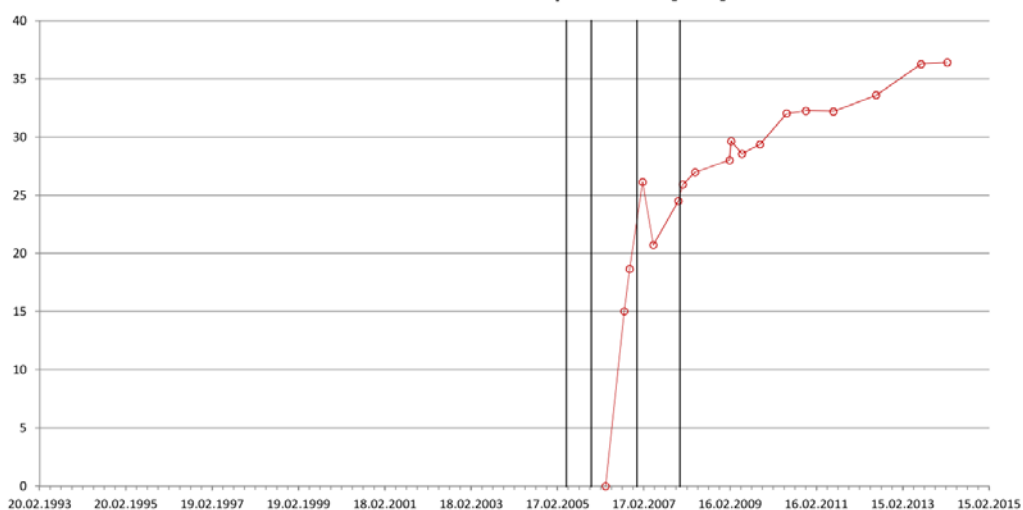
1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
30.03.2006	0		
05.09.2006	15	276	1,6
20.10.2006	19	279	1,6
05.02.2007	26	286	1,6
07.05.2007	21	282	1,6
04.12.2007	25	293	1,6
11.01.2008	26	292	1,6
24.04.2008	27	291	1,6
10.02.2009	28	326	1,6
24.02.2009	30	323	1,6
26.05.2009	29	312	-4,9
26.10.2009	29	311	-5,4
08.06.2010	32	313	-5,4
16.11.2010	32	313	-5,4
08.07.2011	32	313	-5,4
02.07.2012	34	314	-5,4
18.07.2013	36	309	-5,9
26.02.2014	36	302	-5,9

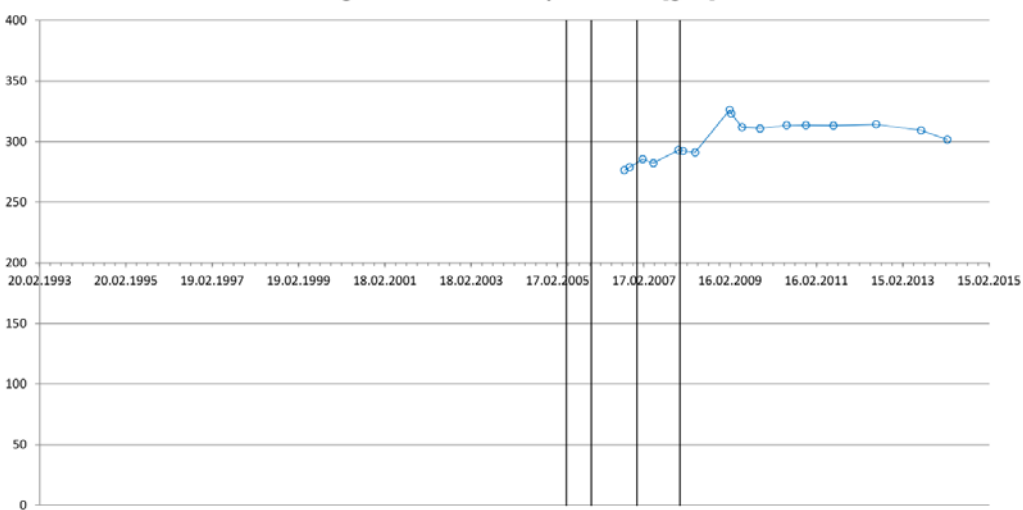
Level of maximum horizontal displacement



Maximum horizontal displacement [mm]



Angle of horizontal displacement [gon]

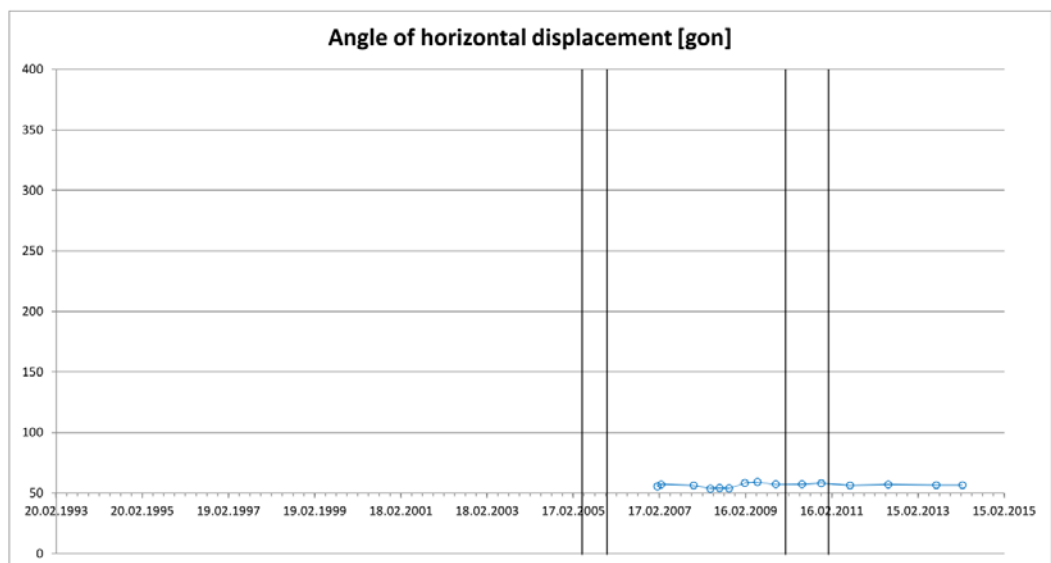
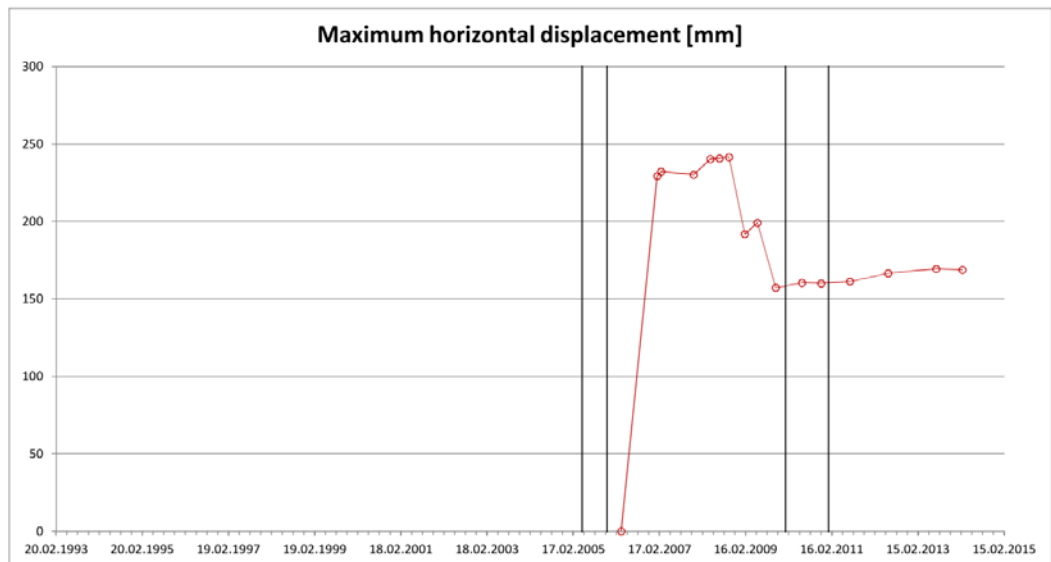
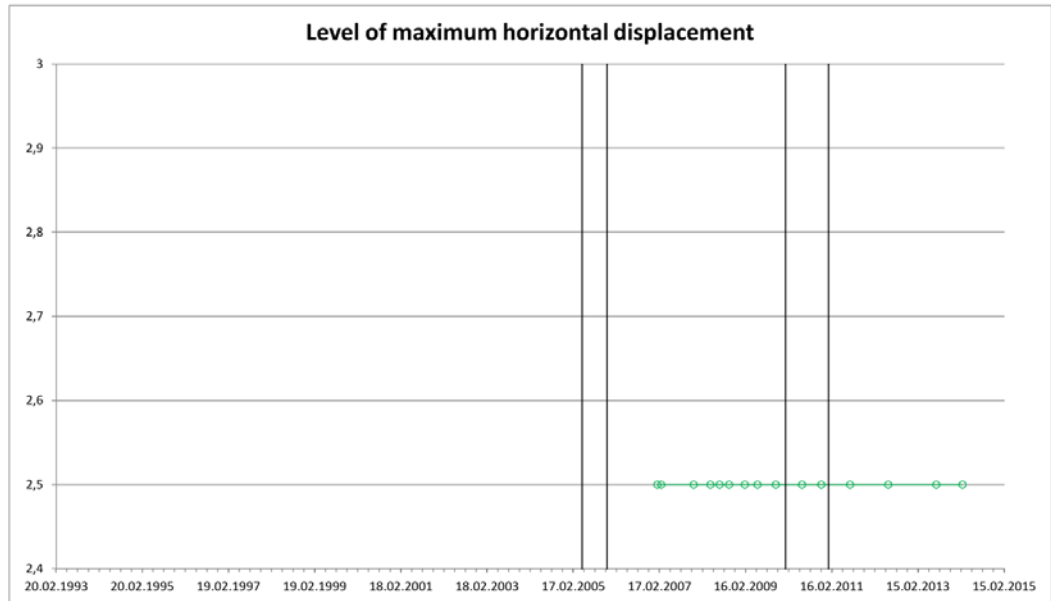


Angle directions [gon]:

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

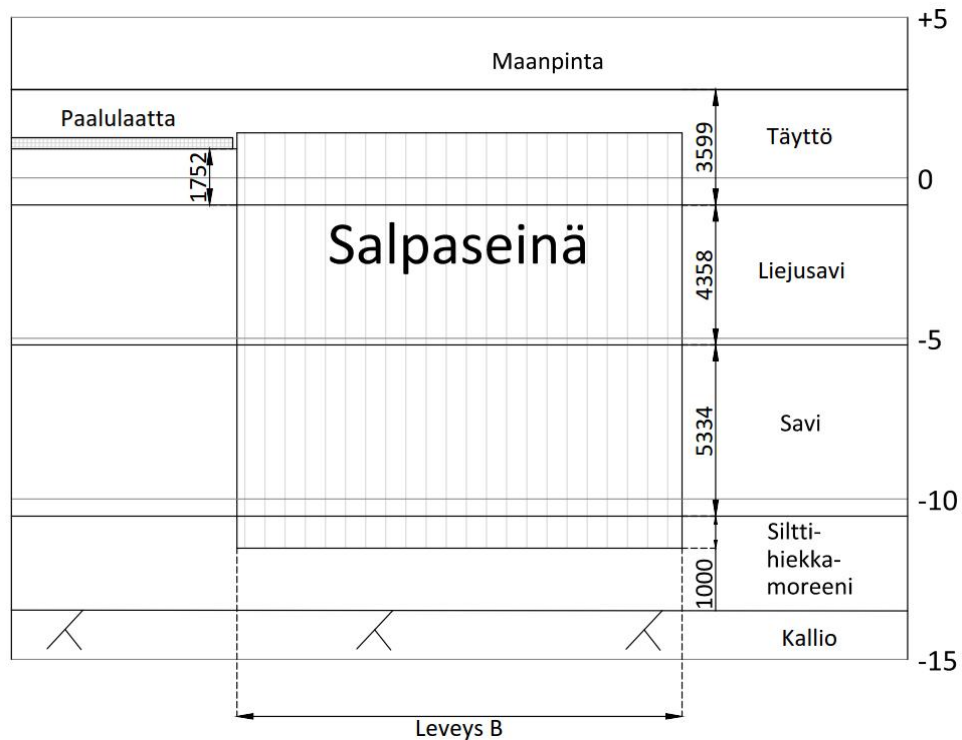
Date [dd.mm.yyyy]	Maximum horizontal displacement [mm]	Angle of horizontal displacement [gon]	Level of maximum horizontal displacement
31.03.2006	0		
30.01.2007	229	56	2,5
01.03.2007	232	57	2,5
03.12.2007	230	56	2,5
23.04.2008	240	54	2,5
10.07.2008	241	54	2,5
26.09.2008	242	54	2,5
09.02.2009	192	58	2,5
27.05.2009	199	59	2,5
27.10.2009	157	57	2,5
08.06.2010	161	57	2,5
16.11.2010	160	58	2,5
19.07.2011	161	56	2,5
07.06.2012	167	57	2,5
18.07.2013	169	56	2,5
26.02.2014	169	56	2,5

**Angle directions [gon]:**

North = 0, 400
 East = 100
 South = 200
 West = 300

1st line from left indicates the start of column-walls stabilization at the construction area.
 2nd line from left indicates the completion of column-walls stabilization at the construction area.
 3rd line from left indicates when the construction permit of nearby building was granted. After this the piling work started.
 4th line from left indicates the one year elapsed time after granting nearby building construction permit. During a period of one year, piling has completed and pore pressures have dissipated.

**Arabianrannan salpaseinä, lepopaine salpaseinän itäpuolella
(Leveyden B laskenta kaatumis- ja (liukuvarmuutta) vastaan.)**



Laskelmissa verrataan maanpaineita oikealla ja vasemmalla puolella salpaseinää. Salpaseinän vasemmalla puolella on paalulaatta, joka kantaa kaikki laatan yläpuolella olevat kuormat. Tämän takia maanpaine on suurempi salpaseinän rannan puolella kuin mantereen puolella. Salpaseinälle vaadittava leveys on arvioitu kaatumisvarmuuden perusteella. Inklinometrimittauksien ja FEM-mallin perusteella salpaseinä on kallistunut rakennusalueella 4 sisämaahan päin.

Täyttökerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_1 := 3599\text{mm}$	$\gamma_1 := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Liejusavikerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_2 := 4358\text{mm}$	$\gamma_2 := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Savikerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_3 := 5334\text{mm}$	$\gamma_3 := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Siltti-hiekka-moreeni -kerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_4 := 1000\text{mm}$	$\gamma_4 := 21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

**Tehokkaat
kitkakulmat:**

$$\varphi'_1 := 33\text{deg}$$

(Pitkän ajan tilanteessa)

Liite 3 (2/8)

$$\varphi'_2 := 17\text{deg}$$

$$\varphi'_3 := 22\text{deg}$$

$$\varphi'_4 := 34\text{deg}$$

Lasketaan lepopainekertoimet Jakyn kaavan perusteella:

$$K_{01} := 1 - \sin(\varphi'_1) = 0.455$$

$$K_{02} := 1 - \sin(\varphi'_2) = 0.708$$

$$K_{03} := 1 - \sin(\varphi'_3) = 0.625$$

$$K_{04} := 1 - \sin(\varphi'_4) = 0.441$$

Lasketaan vaakasuuntainen lepopaine eri kerrosrajojen ylä- ja pinnoissa:

$$p_{1y} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine täyttökerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{1a} := K_{01} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1) = 32.777 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine täyttökerroksen alapinnan tasolla})$$

$$p_{2y} := K_{02} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1) = 50.935 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine liejusavikerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{2a} := K_{02} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2) = 94.109 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine liejusavikerroksen alapinnan tasolla})$$

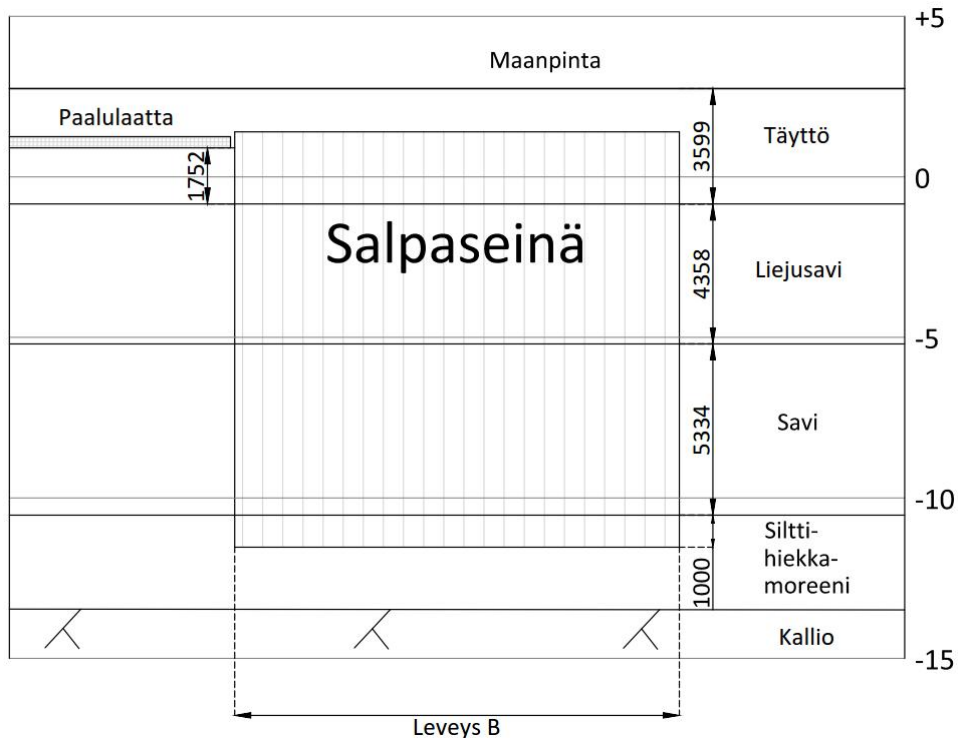
$$p_{3y} := K_{03} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2) = 83.172 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine savikerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{3a} := K_{03} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3) = 133.21 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine savikerroksen alapinnan tasolla})$$

$$p_{4y} := K_{04} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3) = 93.893 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine si-hi-m o -kerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{4a} := K_{04} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3 + h_4 \cdot \gamma_4) = 103.15 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine si-hi-m o -kerroksen alapinnan tasolla})$$

**Arabianrannan salpaseinä, lepopaine salpaseinän länsipuolella
(Leveyden B laskenta kaatumis- ja liukuvarmuutta vastaan.)**



Laskelmassa verrataan maanpaineita oikealla ja vasemmalla puolella salpaseinää. Salpaseinän vasemmalla puolella on paalulaatta, joka kantaa kaikki laatan yläpuolella olevat kuormat. Tämän takia maanpaine on suurempi salpaseinän rannan puolella kuin mantereen puolella. Salpaseinälle vaadittava leveys on arvioitu kaatumisvarmuuden perusteella. Inklinometrimittaustulosten ja FEM-mallin perusteella salpaseinä on kallistunut rakennusalueella 4 sisämaahan päin.

Täyttökerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_1 := 1752\text{mm}$	$\gamma_1 := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Liejusavikerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_2 := 4358\text{mm}$	$\gamma_2 := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Savikerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_3 := 5334\text{mm}$	$\gamma_3 := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Siltti-hiekka-moreeni -kerroksen paksuus ja tilavuuspaino	$h_4 := 1000\text{mm}$	$\gamma_4 := 21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

**Tehokkaat
kitkakulmat:**

$$\varphi'_1 := 33\text{deg}$$

(Pitkän ajan tilanteessa)

Liite 3 (4/8)

$$\varphi'_2 := 17\text{deg}$$

$$\varphi'_3 := 22\text{deg}$$

$$\varphi'_4 := 34\text{deg}$$

Lasketaan lepopaine kertoimet Jakyn kaavan perusteella:

$$K_{01} := 1 - \sin(\varphi'_1) = 0.455$$

$$K_{02} := 1 - \sin(\varphi'_2) = 0.708$$

$$K_{03} := 1 - \sin(\varphi'_3) = 0.625$$

$$K_{04} := 1 - \sin(\varphi'_4) = 0.441$$

Lasketaan vaakasuuntainen lepopaine eri kerrosrajojen ylä- ja alapinnoissa:

$$p_{1y} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine täyttökerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{1a} := K_{01} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1) = 15.956 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine täyttökerroksen alapinnan tasolla})$$

$$p_{2y} := K_{02} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1) = 24.795 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine liejusavikerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{2a} := K_{02} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2) = 67.969 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine liejusavikerroksen alapinnan tasolla})$$

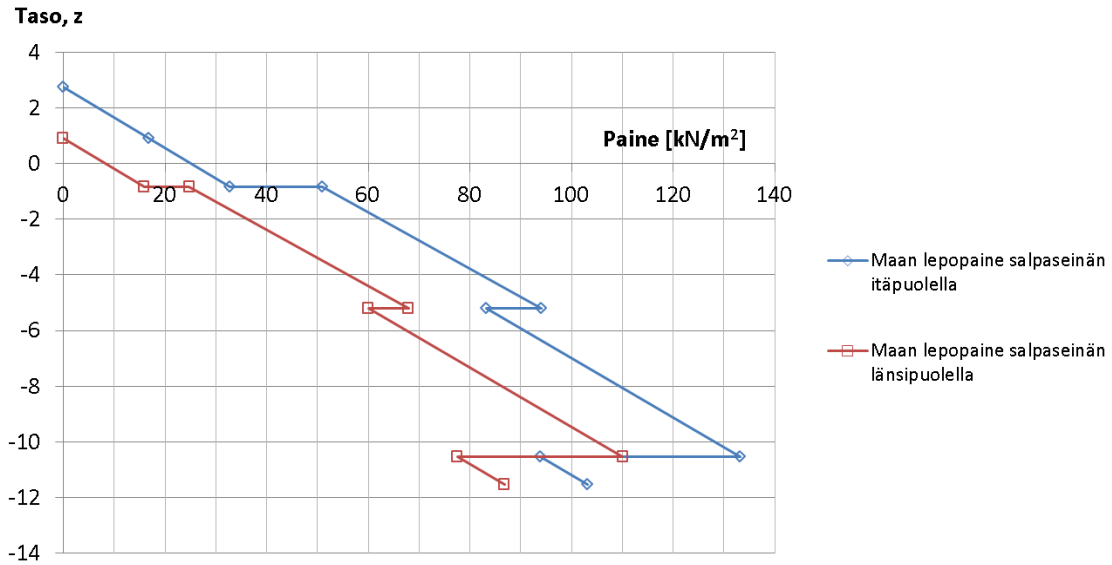
$$p_{3y} := K_{03} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2) = 60.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine savikerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{3a} := K_{03} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3) = 110.108 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine savikerroksen alapinnan tasolla})$$

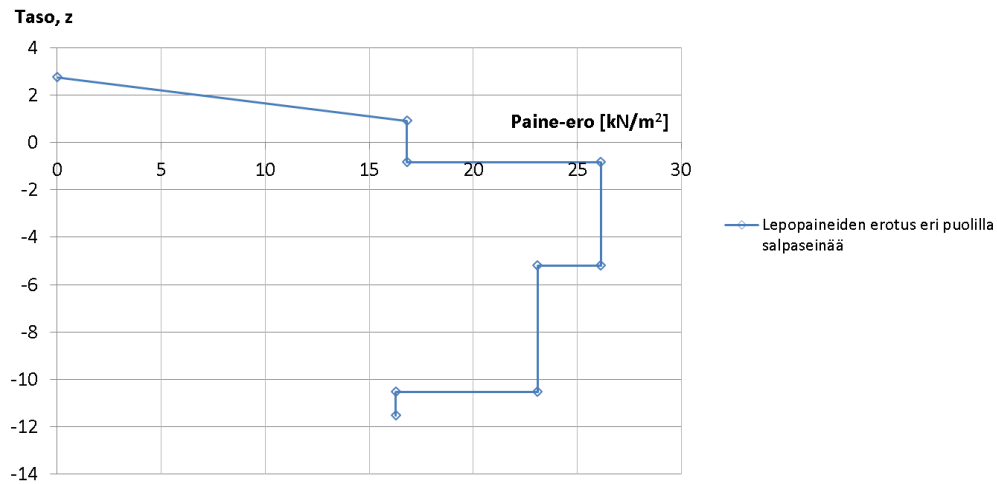
$$p_{4y} := K_{04} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3) = 77.609 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine si-hi-mo -kerroksen yläpinnan tasolla})$$

$$p_{4a} := K_{04} \cdot (h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3 + h_4 \cdot \gamma_4) = 86.866 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{Maan lepopaine si-hi-mo -kerroksen alapinnan tasolla})$$

Maanpaine eri puolella salpaseinää:



Maanpaine-ero. Paine on suurempi salpaseinän itäpuolella.

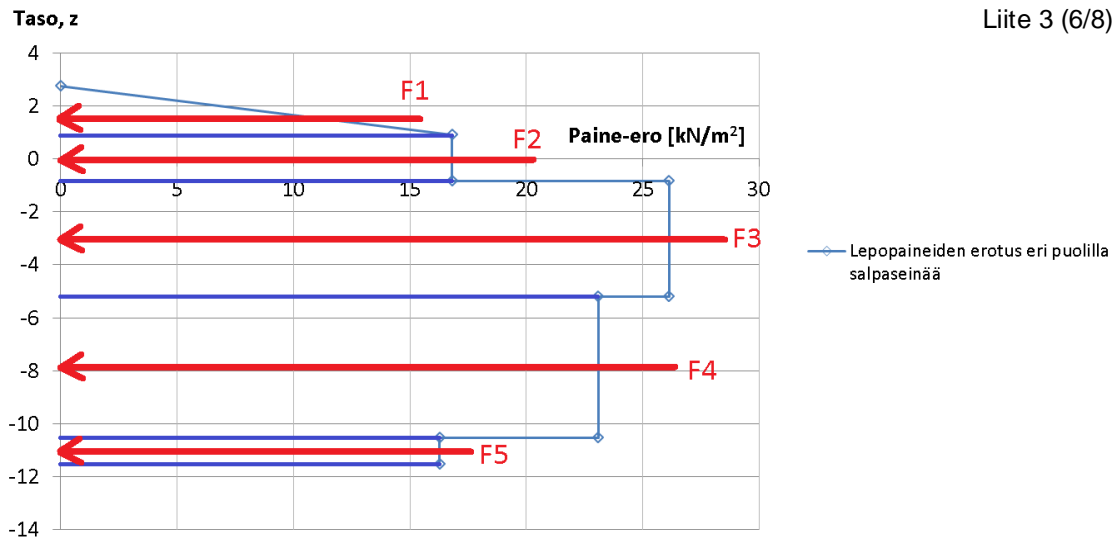


Lepopaineiden erotuksista lasketut vaakasuuntaiset resultantit (juoksumetriä kohden):

$$F_1 := 15.534 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad F_4 := 123.226 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_2 := 29.470 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad F_5 := 16.284 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_3 := 113.918 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$F_{\text{kok}} := F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = 298.432 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Eri kerrosten resultantit voidaan yhdistää yhdeksi resultantiksi, F_{kok} .
Lisäksi on laskettu tämän resultantin vaikutustaso.

Vipubarret, tässä voiman F_1 kohta on otettu momenttipisteeksi voimia yhdistettäessä.

$$r_1 := 0\text{m}$$

$$r_2 := 1.49\text{m}$$

$$r_3 := 4.55\text{m}$$

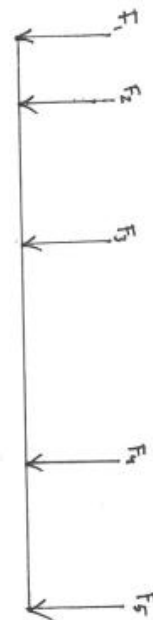
$$r_4 := 9.89\text{m}$$

$$r_5 := 12.56\text{m}$$

Momenttien tasapainon perusteella:

$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 + F_4 \cdot r_4 + F_5 \cdot r_5 - F_{\text{kok}} \cdot R = 0$$

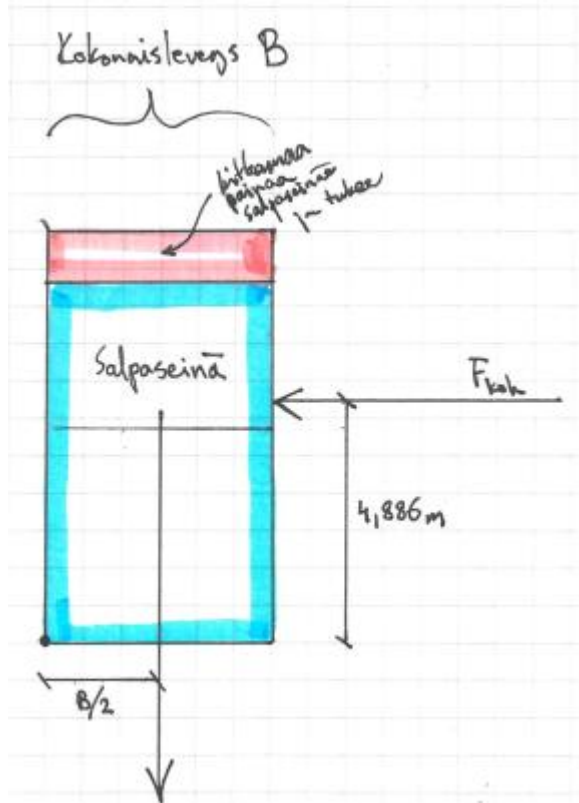
$$R := \frac{F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 + F_4 \cdot r_4 + F_5 \cdot r_5}{F_{\text{kok}}} = 6.653\text{m}$$



Lepopaine-erosta johtuvan voiman kokonaisresultantin suuruus on siis 298,432 kN/(juoksumetri) ja vaikutustaso on $+1,52 - 6,653 = -5,133$

Periaatekuva salpaseinän kaatumisesta:

Liite 3 (7/8)



Momenttipisteeksi on yksinkertaistuksen vuoksi otettu vasen alanurkka. Tarkemmin asian voisi laskea käyttäen alustalukuja. Pohjamaa siltti-hiekka-moreeni on siis tässä laskelmassa oletettu todellista jäykemmäksi.

Momenttitasapainotilanne saavutetaan salpaseinän leveydellä B.

Salpaseinän paino:

$$\gamma_{\text{kitka}} \cdot B \cdot 1.353\text{m} + \gamma_{\text{stab.lieju}} \cdot B \cdot 4.358\text{m} + \gamma_{\text{stab.savi}} \cdot B \cdot 6.334\text{m} = 193.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot B$$

missä:

$$\gamma_{\text{kitka}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{\text{stab.lieju}} := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{\text{stab.savi}} := 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Momenttitasapainotilanteessa:

$$-193.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{B^2}{2} + 298.432\text{kN} \cdot 4.886\text{m} = 0$$

$$B := \sqrt{\frac{298.432 \cdot 4.886 \cdot 2}{193.774}} = 3.879 \text{ m}$$

Liite 3 (8/8)

Tasapainotilanteessa salpaseinän leveys olisi vain 3.9 m, mutta jos kokonaisvarmuudeksi halutaan FOS=1,8 (Pitkäaikainen tilanne), tulisi salpaseinän leveyden olla 6,98 m ≈ 7,0 m.

Liukuvarmuus:

$$F_t := 298.432 \text{ kN} \quad (\text{Työntävä voima})$$

Maan kitkakerroin:

$$\varphi_{\text{siltti.hiekka.moreeni}} := 34^\circ$$

$$\mu := \tan(\varphi_{\text{siltti.hiekka.moreeni}}) = 0.675$$

Vastustava voima:

$$F_\mu = F_{\text{paino}} \cdot \mu$$

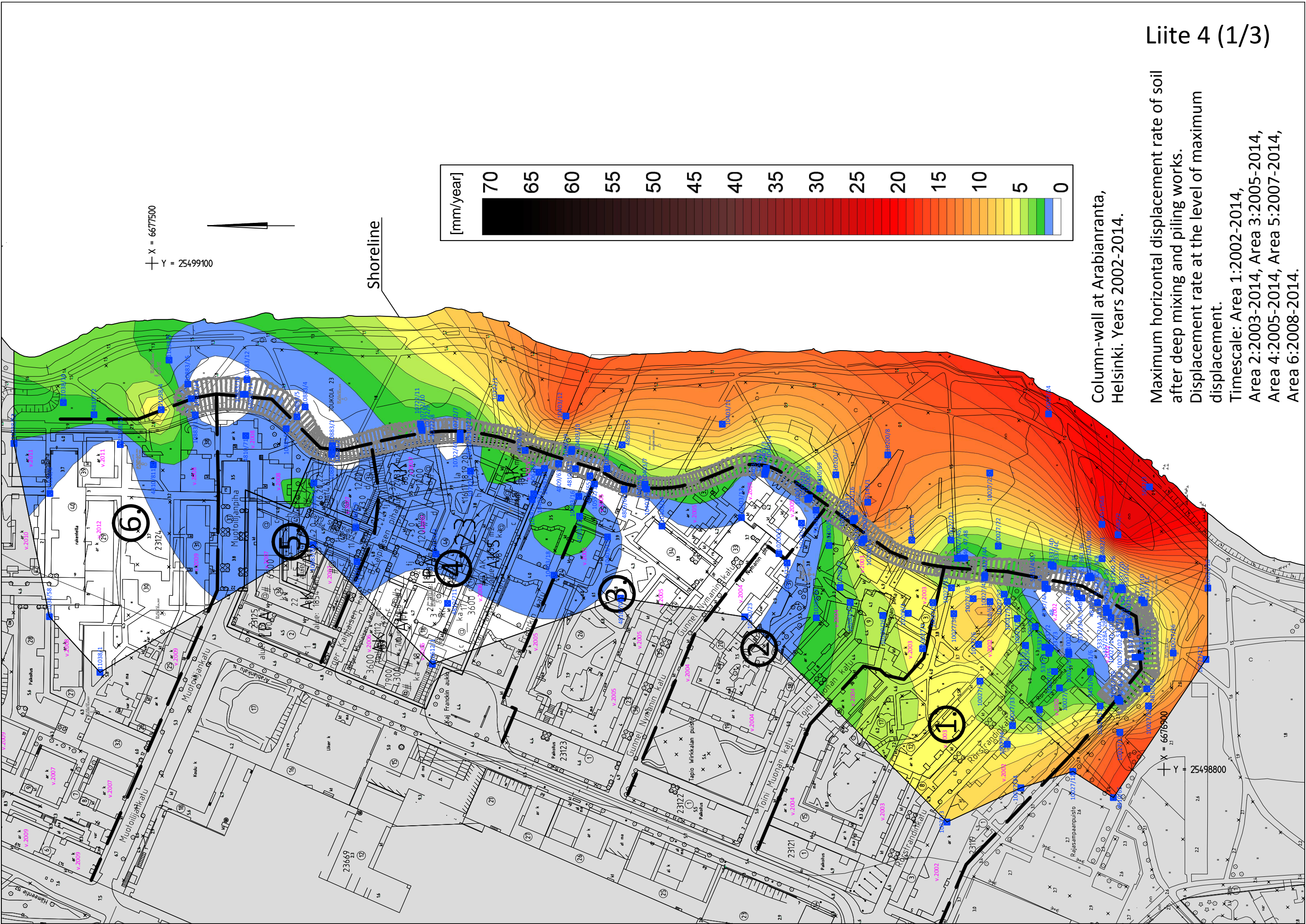
Tasapainotilanteessa työntävä voima ja kitkavoima ovat yhtä suuria.

$$B_{\text{liuku}} := \frac{298.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{193.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.675} = 2.282 \text{ m}$$

Jos kokonaisvarmuustasoksi halutaan FOS=1,8 (Pitkän ajan tilanne), niin leveyden B.liuku tulisi olla 4,1 m. Ko. salpaseinälle liukumisen ei tule mitoittavaksi, vaan aiemmin laskettu kiertyminen.

Johtopäätös:

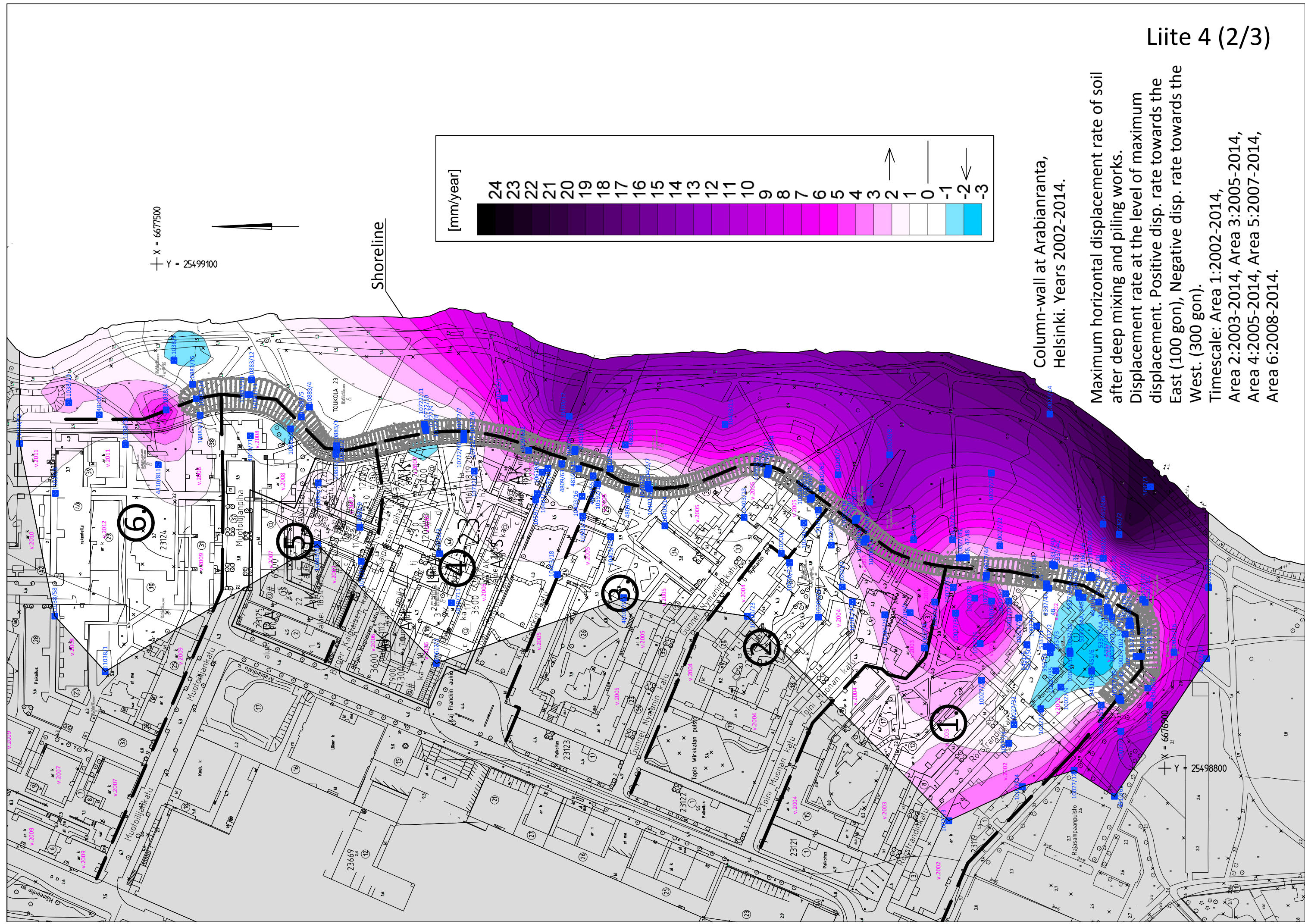
Tarkastelun perusteella salpaseinän leveys määräytyy kaatumistarkastelulla, sillä se muodostuu rajoittavaksi ehdoksi. Tarkastelun perusteella alueen 4 kohdalla salpaseinän leveyden tulisi FOS=1,8 varmuudella olla 7,0 m. Todellisuudessa salpaseinä on tehty kyseisellä kohdalla lähes kaksinkertaisella leveydellä (B=13,8 m).

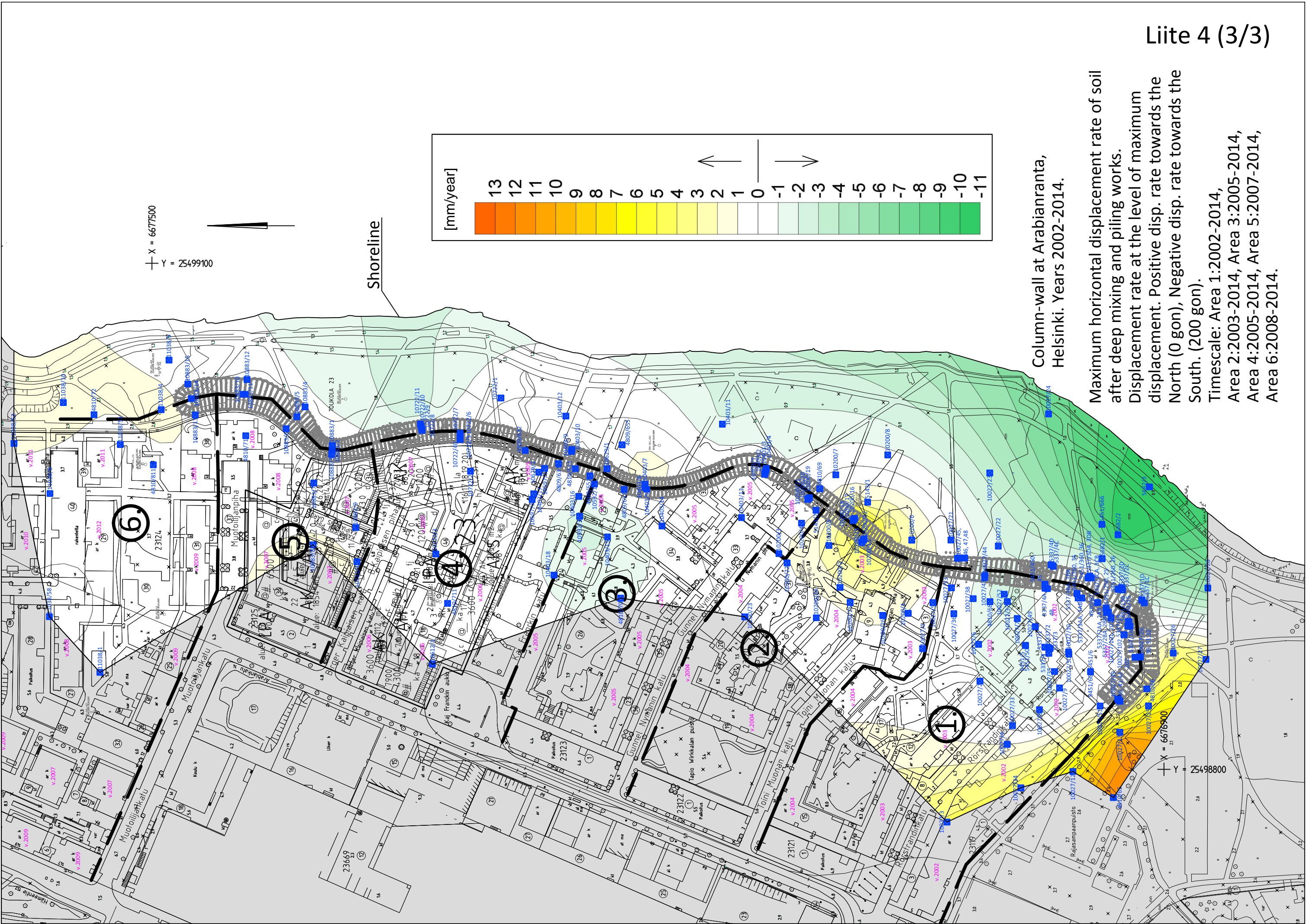


Column-wall at Arabianranta, Helsinki. Years 2002-2014.

Maximum horizontal displacement rate of soil after deep mixing and piling works. Displacement rate at the level of maximum displacement.

Timescale: Area 1:2002-2014, Area 2:2003-2014, Area 3:2005-2014, Area 4:2005-2014, Area 5:2007-2014, Area 6:2008-2014.

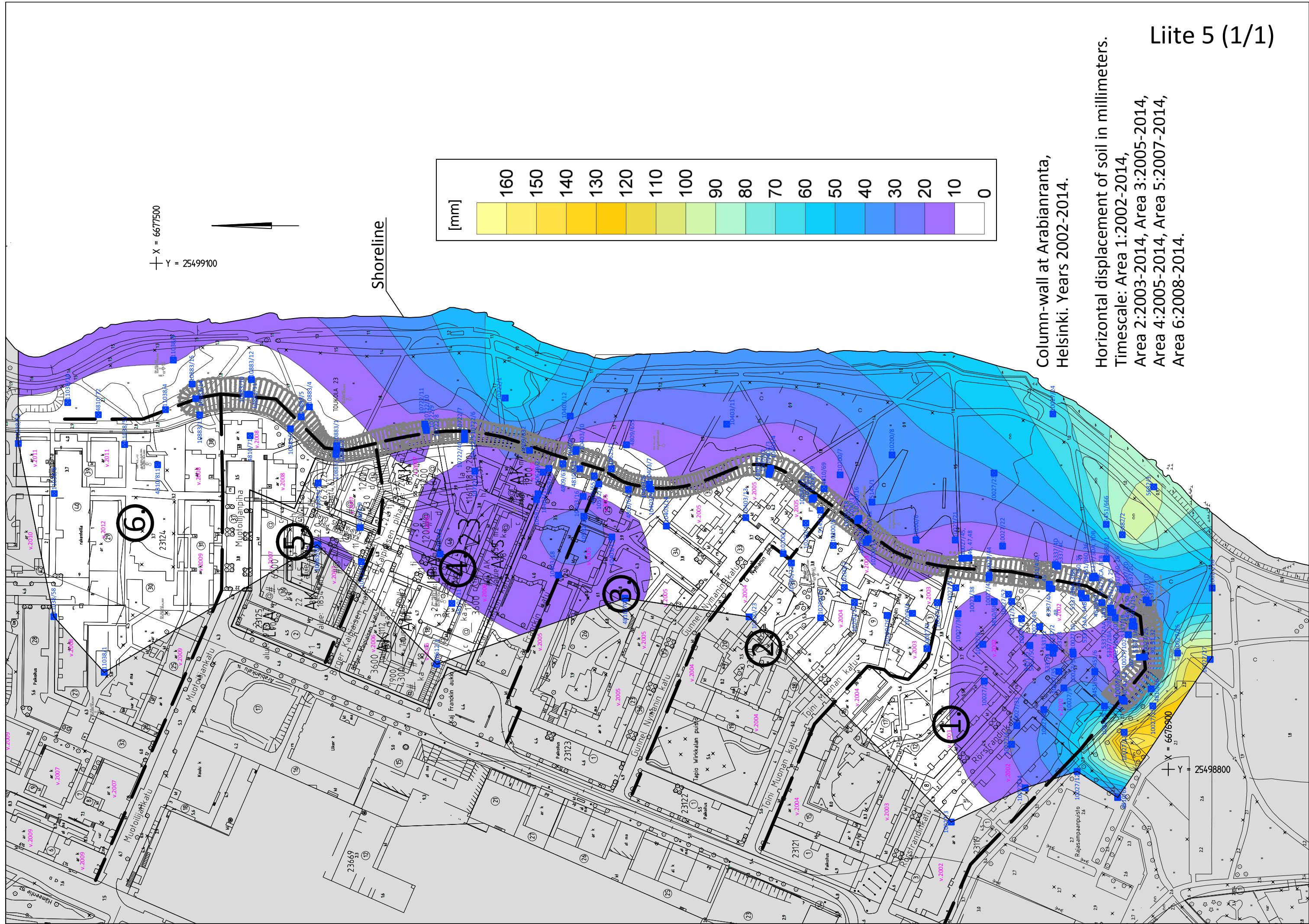




Column-wall at Arabianranta, Helsinki. Years 2002-2014.

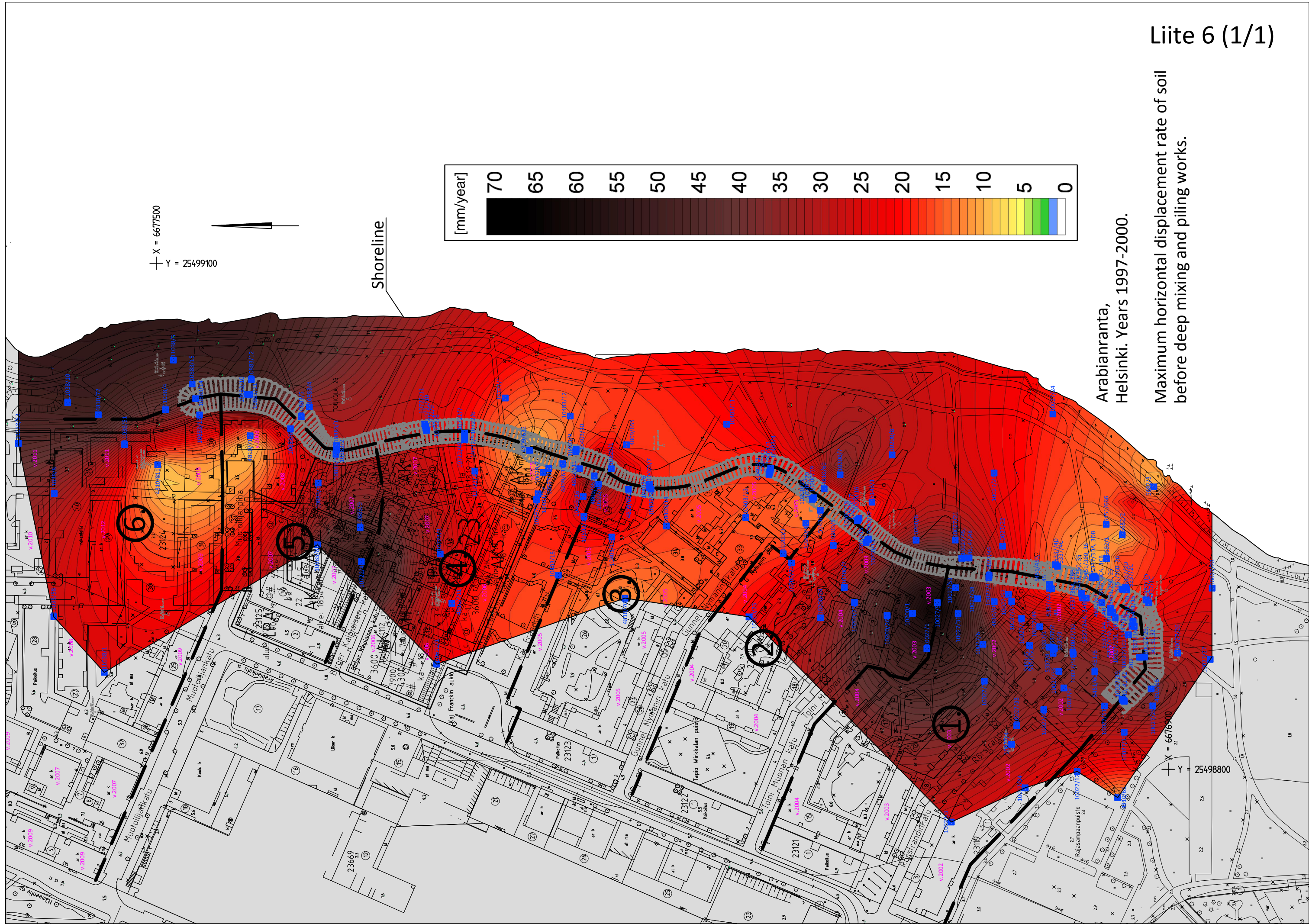
Maximum horizontal displacement rate of soil after deep mixing and piling works.
Displacement rate at the level of maximum displacement. Positive disp. rate towards the North (0 gon), Negative disp. rate towards the South. (200 gon).

Timescale: Area 1:2002-2014,
Area 2:2003-2014, Area 3:2005-2014,
Area 4:2005-2014, Area 5:2007-2014,
Area 6:2008-2014.



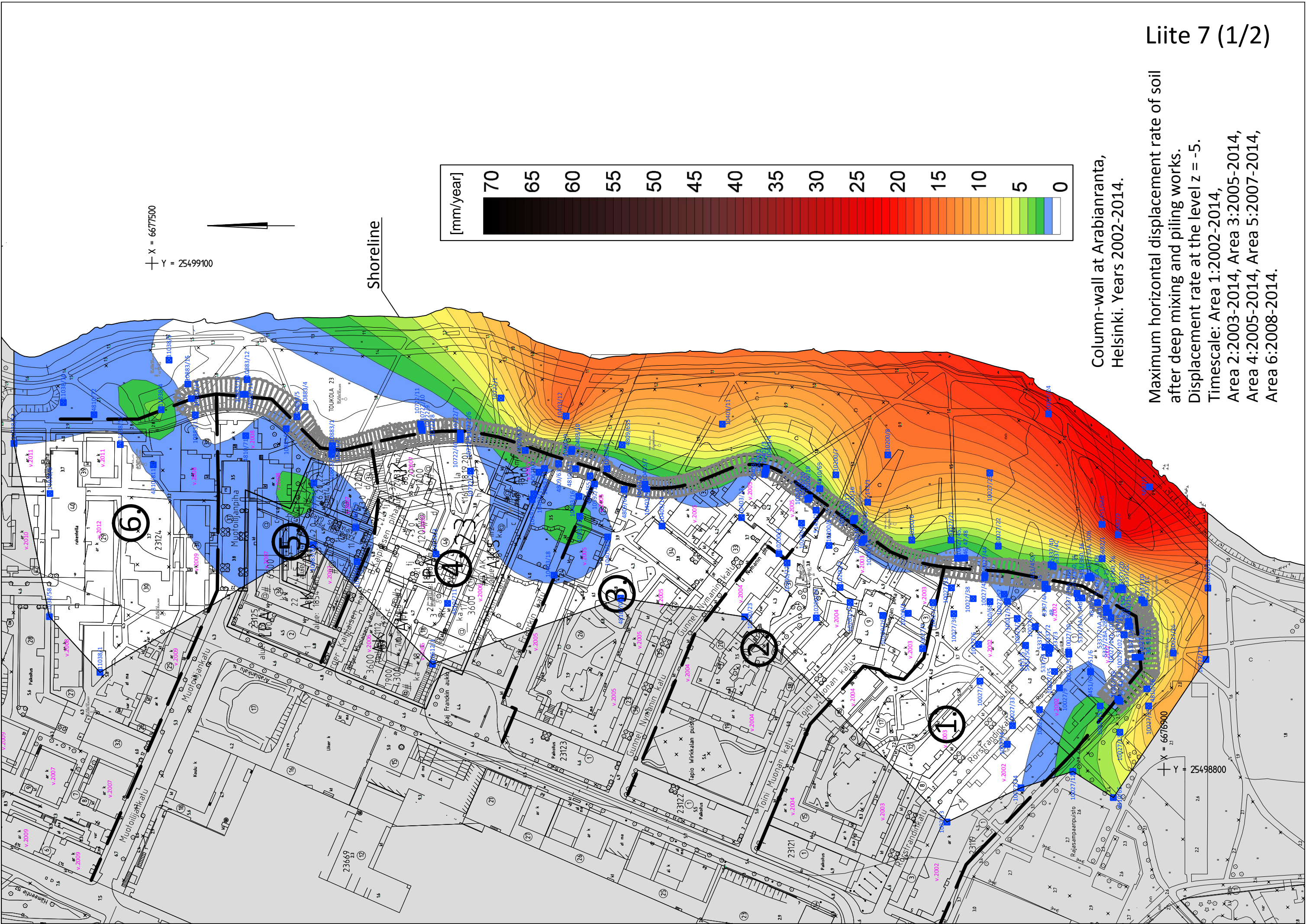
Column-wall at Arabianranta,
Helsinki. Years 2002-2014.

Horizontal displacement of soil in millimeters.
Timescale: Area 1:2002-2014,
Area 2:2003-2014, Area 3:2005-2014,
Area 4:2005-2014, Area 5:2007-2014,
Area 6:2008-2014.



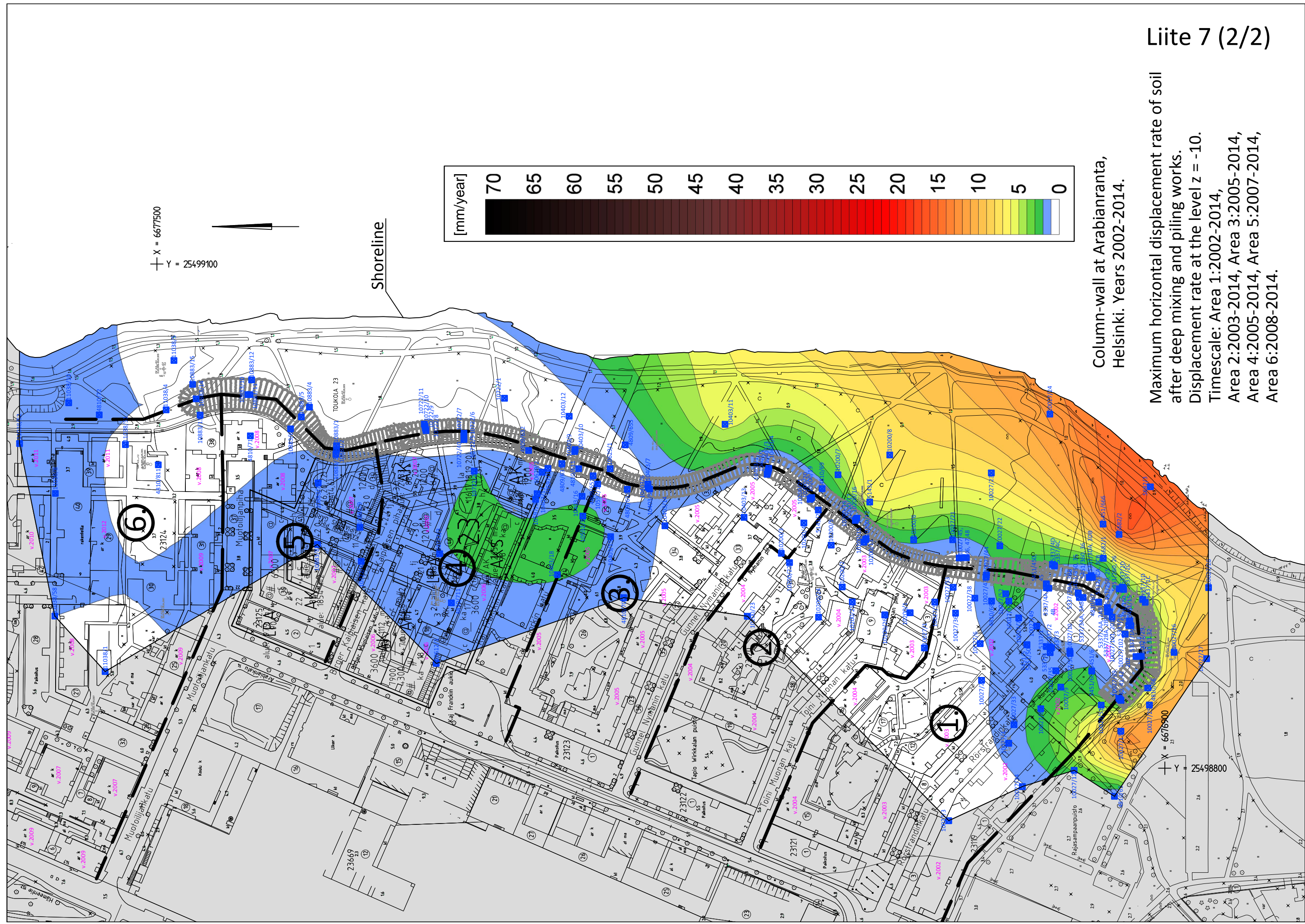
Arabianranta,
Helsinki. Years 1997-2000.

Maximum horizontal displacement rate of soil
before deep mixing and piling works.



Column-wall at Arabianranta,
Helsinki. Years 2002-2014.

Maximum horizontal displacement rate of soil
after deep mixing and piling works.
Displacement rate at the level $z = -5$.
Timescale: Area 1:2002-2014,
Area 2:2003-2014, Area 3:2005-2014,
Area 4:2005-2014, Area 5:2007-2014,
Area 6:2008-2014.



Column-wall at Arabianranta,
Helsinki. Years 2002-2014.

Maximum horizontal displacement rate of soil
after deep mixing and piling works.

Displacement rate at the level $z = -10$.
Timescale: Area 1:2002-2014,
Area 2:2003-2014, Area 3:2005-2014,
Area 4:2005-2014, Area 5:2007-2014,
Area 6:2008-2014.



Kuva 1. Arabianranta. Rantapuiston ja salpaseinän raja 1. rakennusalueella. (14.12.2014)



Kuva 2. Arabianranta. Painumaa on tapahtunut salpaseinän rannan puolella. (14.12.2014)



Kuva 3. Arabianranta. Nurmikosta näkyy salpaseinän ja rantapuiston rajakohta. (14.12.2014)



Kuva 4. Arabianranta. Rantapuiston eteläpuoli. (14.12.2014)



Kuva 5. Arabianranta. Salpaseinän ja rantapuiston raja. 1. ja 2. rakennusalue. (14.12.2014)



Kuva 6. Arabianranta. Salpaseinän ja rantapuiston raja. 3. rak.alue, Kaj Franckin katu. (14.12.2014)



Kuva 7. Arabianranta. Asfaltissa halkeama salpaseinän ja rantapuiston rajalla (4.rak.alue). (14.12.2014)



Kuva 8. Arabianranta. Salpaseinän ja rantapuiston raja. 4. ja 5. rakennusalue. (14.12.2014)



Kuva 9. Arabianranta. Salpaseinän pohjoispäädyn kohta 5. rakennusalueella. (14.12.2014)



Kuva 10. Arabianranta. Rantapenger ja kävelytie 3. rakennusalueella. (14.12.2014)



Kuva 11. Arabianranta. Rantapuisto 3. rakennusalueen kohdalla. (14.12.2014)



Kuva 12. Arabianranta. 3. rakennusalue, Kaj Franckin kadun kohta. (14.12.2014)

Inklinometri 10027/26

PVM	aika [vrk]	Siirtymä [mm]	Aika/siirtymä	Laskettu arvo
22.11.2000	0	0	0,00	0,0
4.12.2000	12	23	0,52	1,1
3.1.2001	42	37	1,13	3,7
18.1.2001	57	39	1,48	5,0
8.5.2001	167	28	5,98	14,1
6.6.2001	196	26	7,45	16,3
4.7.2001	224	27	8,21	18,5
3.9.2001	285	28	10,21	23,1
25.10.2001	337	28	12,18	26,8
4.2.2002	439	35	12,50	33,8
2.12.2002	740	61	12,15	52,2
21.11.2003	1094	78	14,04	70,2
21.7.2004	1337	82	16,26	80,7
4.5.2005	1624	92	17,70	91,7
18.7.2006	2064	105	19,68	106,0
22.10.2007	2525	118	21,48	118,5
27.5.2008	2743	122	22,51	123,6
14.5.2009	3095	130	23,89	131,2
20.4.2010	3436	136	25,24	137,7
6.6.2011	3848	145	26,51	144,6
6.9.2012	4306	151	28,61	151,4
19.6.2013	4592	156	29,49	155,2
11.3.2014	4857	158	30,80	158,5
11.3.2015	5222			162,7
1.1.2050	17937			216,2
1.1.2051	18302			216,8
1.1.2100	36199			232,0

Ennusteet

Hyperbolisen sovitefunktion lähde:

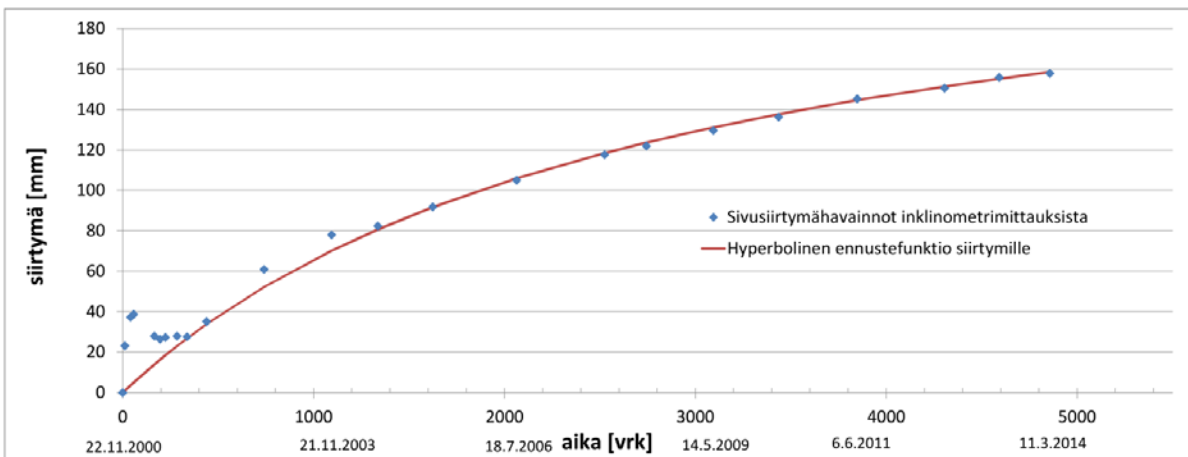
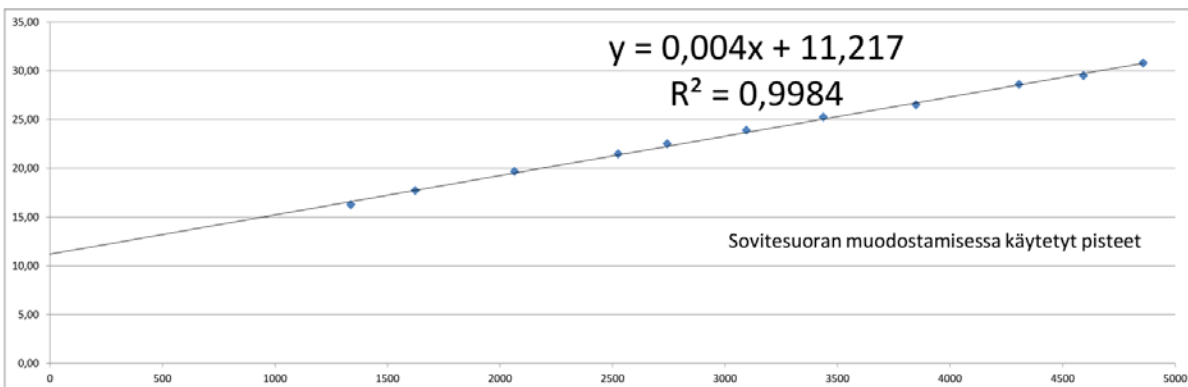
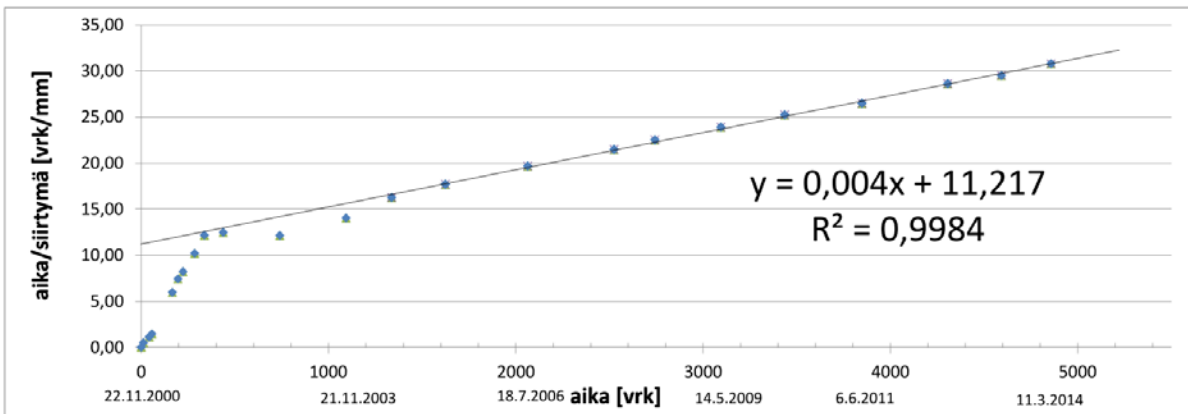
K-H. Korhonen. 1977. Heikosti kantavan maapohjan konsolidoituminen. s.53 yhtälö (69j).

$$S = \frac{t}{1/v_0 + t/s_f} = \frac{t}{1/(0,0892 \frac{mm}{vrk}) + t/(250mm)}$$

jossa:

 S = siirtymä [mm] S_f = siirtymä lopussa [mm] t = aika [vrk] v_0 = siirtymänopeus alussa (ajanhetkellä $t = 0$) [mm/vrk]

$$a = 1/v_0 \quad b = t/v_0 = 1/k$$

 $S_f = 1/0,004 = 250$ Loppusiirtymä [mm] $v_0 = 1/11,217 = 0,0892$ Alkunopeus [mm/vrk]
32,6 Alkunopeus [mm/vuosi] $V_{2014-2015} = 4,2$ Liikenopeus tällä hetkellä (2014-2015) [mm/vuosi] $V_{2002-2014} = 8,6$ Liikenopeus töiden jälkeen (2002-2014) [mm/vuosi] $V_{2050-2051} = 0,6$ Liikenopeus ajanhetkellä (2050-2051) [mm/vuosi]

Inklinometri 10027/51

PVM	aika [vrk]	Siirtymä [mm]	Aika/siirtymä	Laskettu arvo
26.4.2001	0	0	0,00	0,0
31.5.2001	35	10	3,50	2,7
14.6.2001	49	11	4,45	3,7
25.7.2001	90	19	4,74	6,6
31.7.2001	96	21	4,57	7,0
31.8.2001	127	28	4,54	9,1
25.10.2001	182	30	6,07	12,6
1.2.2002	281	36	7,81	18,4
12.6.2002	412	42	9,81	25,1
12.11.2002	565	44	12,84	31,8
14.11.2003	932	57	16,35	44,5
10.9.2004	1233	61	20,21	52,3
25.4.2005	1460	63	23,17	57,1
18.7.2006	1909	67	28,49	64,8
19.10.2007	2367	71	33,34	70,8
27.5.2008	2588	73	35,45	73,2
20.4.2009	2916	77	37,87	76,3
19.4.2010	3280	79	41,52	79,3
31.5.2011	3687	82	44,96	82,1
25.6.2012	4078	84	48,55	84,4
3.5.2013	4390	86	51,05	86,0
7.3.2014	4698	88	53,39	87,5
7.3.2015	5063			89,0
1.1.2050	17782			106,1
1.1.2051	18147			106,3
1.1.2100	36044			110,4

Hyperbolisen sovitefunktion lähde:

K-H. Korhonen, 1977. Heikosti kantavan maapohjan konsolidoituminen. s.53 yhtälö (69j).

$$S = \frac{t}{1/v_0 + t/S_f} = \frac{t}{1/(0,0778 \frac{mm}{vrk}) + t/(115mm)}$$

jossa:

S = siirtymä [mm]

S_f = siirtymä lopussa [mm]

t = aika [vrk]

v_0 = siirtymänopeus alussa (aika hetkellä $t = 0$) [mm/vrk]

$$a = 1/v_0$$

$$b = t/v_0 = 1/k$$

$$S_f = 1/0,0087 = 115 \text{ Loppusiirtymä [mm]}$$

$$v_0 = 1/12,846 = 0,0778 \text{ Alkunopeus v.0 [mm/päivä]}$$

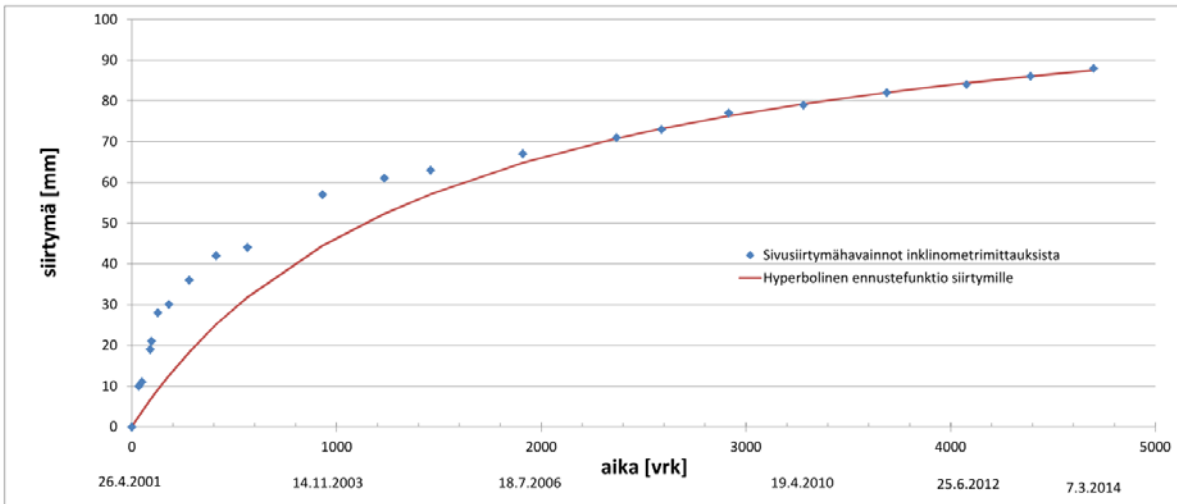
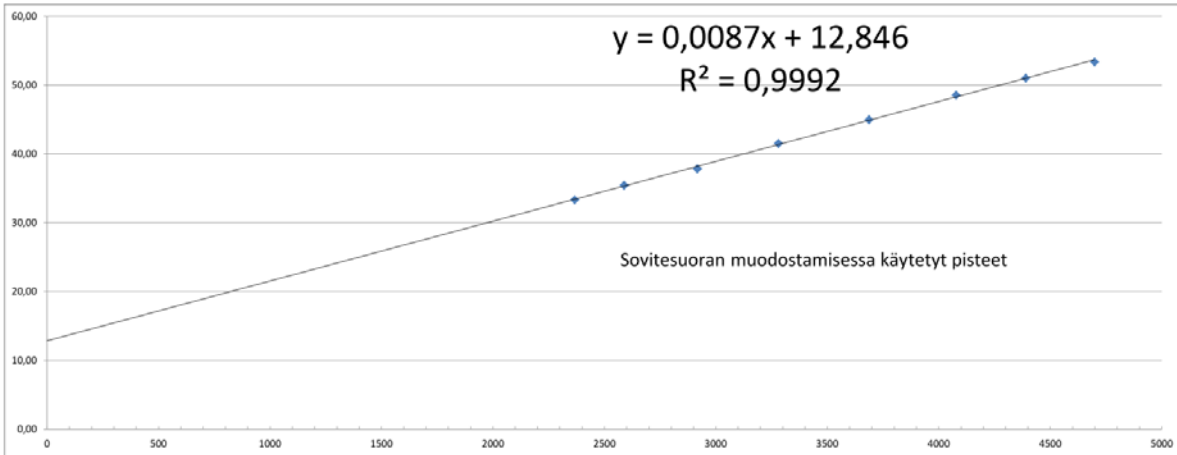
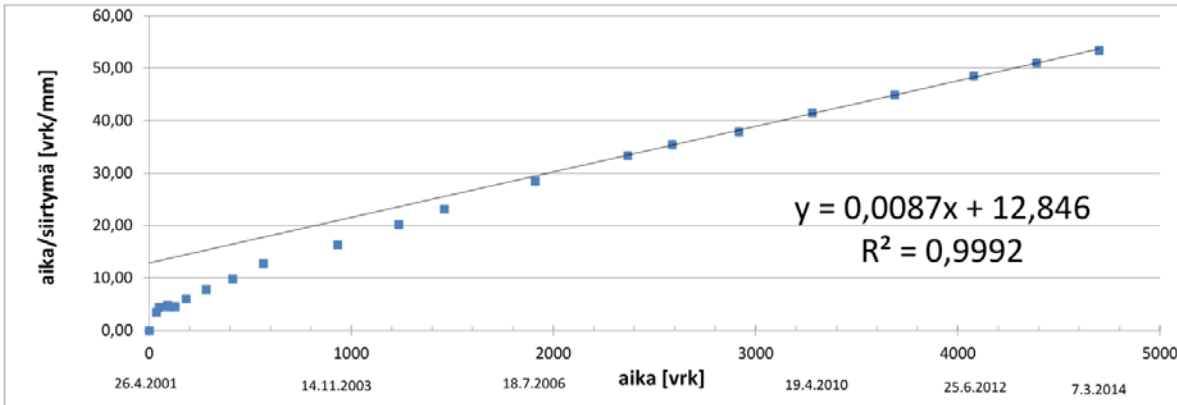
$$28,4 \text{ Alkunopeus v.0 [mm/vuosi]}$$

$$V_{2014-2015} = 1,5 \text{ Liikenopeus tällä hetkellä (2014-2015) [mm/vuosi]}$$

$$V_{2002-2014} = 3,9 \text{ Liikenopeus töiden jälkeen (2002-2014) [mm/vuosi]}$$

$$V_{2050-2051} = 0,2 \text{ Liikenopeus ajanhetkellä (2050-2051) [mm/vuosi]}$$

Ennusteet



Inklinometri 10592/3

PVM	aika [vrk]	Siirtymä [mm]	Aika/painuma	Laskettu arvo
15.10.2004	0	0	0,00	0,0
10.1.2005	87	9	9,32	5,1
28.6.2006	621	24	26,37	22,9
11.6.2007	969	27	35,90	28,6
6.5.2008	1299	30	43,92	32,3
16.1.2009	1554	39	40,04	34,5
5.2.2010	1939	36	53,63	37,0
1.2.2011	2300	40	58,08	38,7
7.3.2012	2700	41	65,83	40,3
18.1.2013	3017	42	71,80	41,2
2.1.2014	3366	41	83,03	42,2
Ennusteet	2.1.2015	3731		43,0
	1.1.2050	16514		49,7
	1.1.2051	16879		49,7
	1.1.2100	34776		50,9

Hyperbolisen sovitefunktion lähde:

K-H. Korhonen. 1977. Heikosti kantavan maapohjan konsolidoituminen. s.53 yhtälö (69j).

$$S = \frac{t}{1/v_0 + t/S_f} = \frac{t}{1/(0,0657 \frac{mm}{vrk}) + t/(52mm)}$$

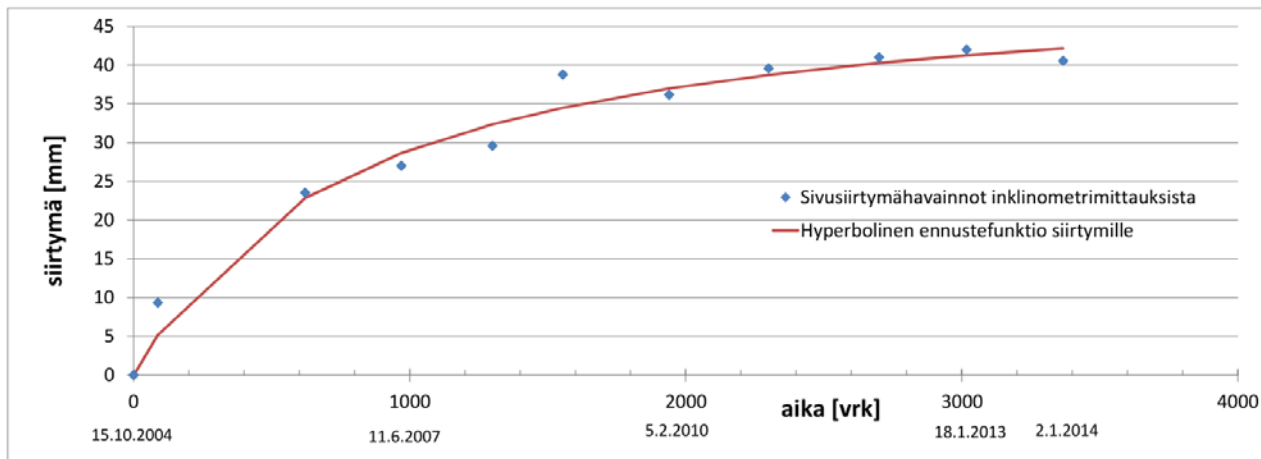
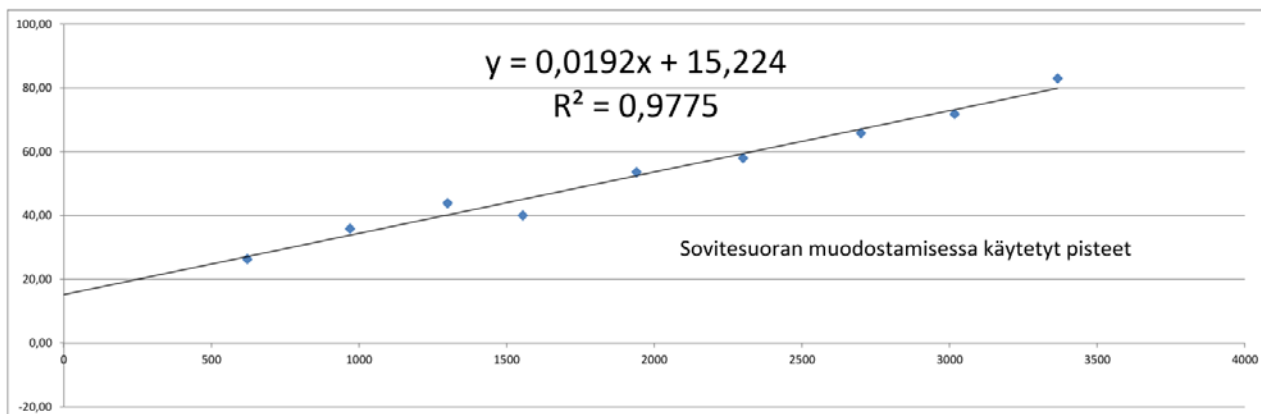
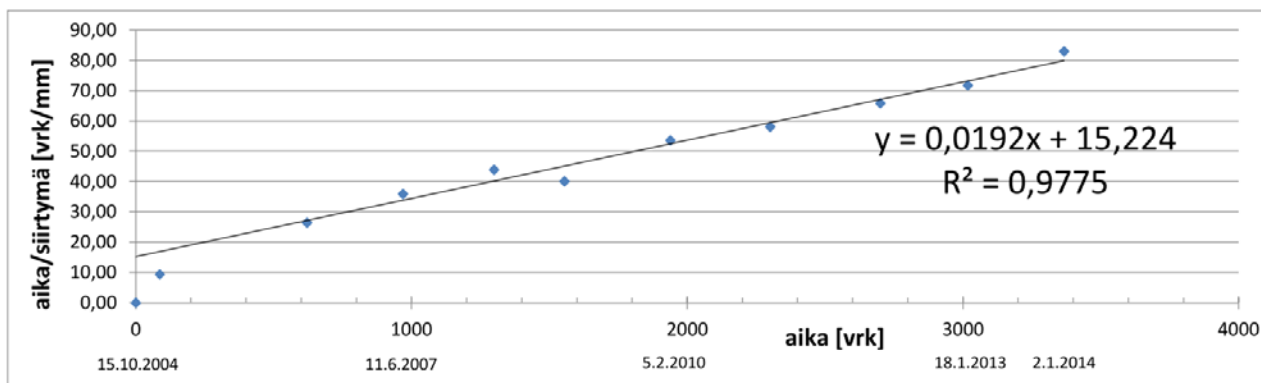
jossa:

 S = siirtymä [mm] S_f = siirtymä lopussa [mm] t = aika [vrk] v_0 = siirtymänopeus alussa (ajanhetkellä $t = 0$) [mm/vrk]

$$a = 1/v_0 \quad b = t/v_0 = 1/k$$

 $S_f = 1/0,0192 = 52$ Loppusiirtymä [mm] $v_0 = 1/15,224 = 0,0657$ Alkunopeus v.0 [mm/päivä]

24,0 Alkunopeus v.0 [mm/vuosi]

 $v_{2014-2015} = 0,8$ Liikenopeus tällä hetkellä (2014-2015) [mm/vuosi] $v_{2005-2014} = 3,5$ Liikenopeus töiden jälkeen (2005-2014) [mm/vuosi] $v_{2050-2051} = 0,0$ Liikenopeus ajanhetkellä (2050-2051) [mm/vuosi]

Inklinometri 10722/2

PVM	aika [vrk]	Siirtymä [mm]	Aika/painuma	Laskettu arvo
27.5.2004	0	0	0,00	0,0
14.6.2004	18	37	0,49	13,0
21.6.2004	25	36	0,69	16,3
4.10.2004	130	46	2,80	35,5
25.11.2004	182	30	6,12	38,6
23.12.2004	210	30	6,97	39,7
13.4.2005	321	30	10,77	42,6
3.6.2008	1468	48	30,40	47,6
14.7.2009	1874	48	39,11	48,0
20.5.2010	2184	47	46,30	48,2
21.5.2010	2185	48	45,65	48,2
27.7.2011	2617	49	53,14	48,3
10.7.2012	2966	49	60,23	48,4
16.7.2013	3337	49	68,23	48,5
25.3.2014	3589	48	74,61	48,6
25.3.2015	3954			48,6
1.1.2050	16655			49,1
1.1.2051	17020			49,1
1.1.2100	34917			49,2

Ennusteet

Hyperbolisen sovitefunktion lähde:

K-H. Korhonen, 1977. Heikosti kantavan maapohjan konsolidoituminen. s.53 yhtälö (69j).

$$S = \frac{t}{1/v_0 + t/s_f} = \frac{t}{1/(0,978 \frac{mm}{vrk}) + t/(49mm)}$$

jossa:

 S = siirtymä [mm] s_f = siirtymä lopussa [mm] t = aika [vrk] v_0 = siirtymänopeus alussa (ajanhetkellä $t = 0$) [mm/vrk]

$$a = 1/v_0$$

$$b = t/v_0 = 1/k$$

$$S_f = 1/0,0203 =$$

$$v_0 = 1/0,0225 =$$

49 Loppusiirtymä [mm]

0,9780 Alkunopeus v.0 [mm/päi]

357,2 Alkunopeus v.0 [mm/vuosi]

Epäuskottava v_0 tai

<-- johtunut paalutuksesta/

pilaroinnista

 $v_{2014-2015} =$

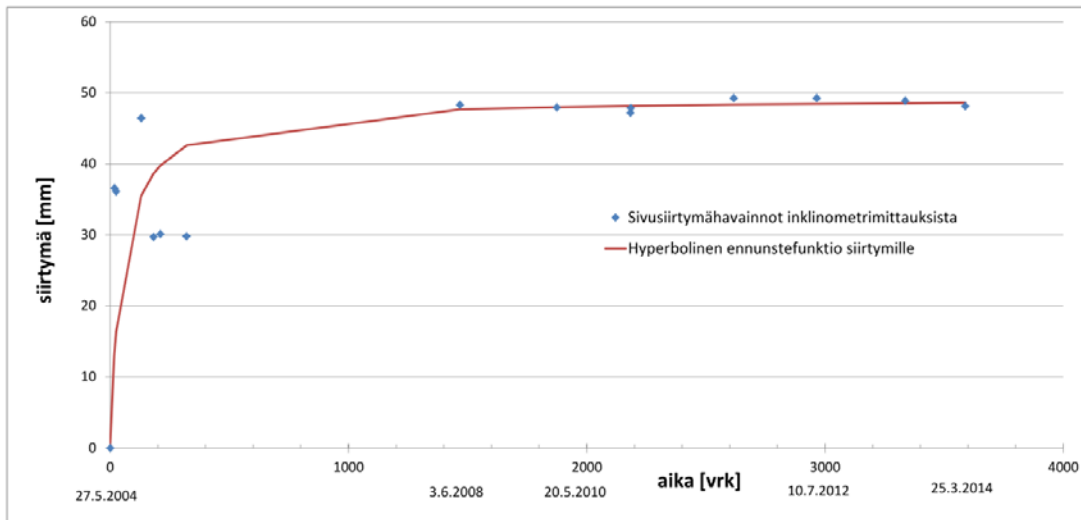
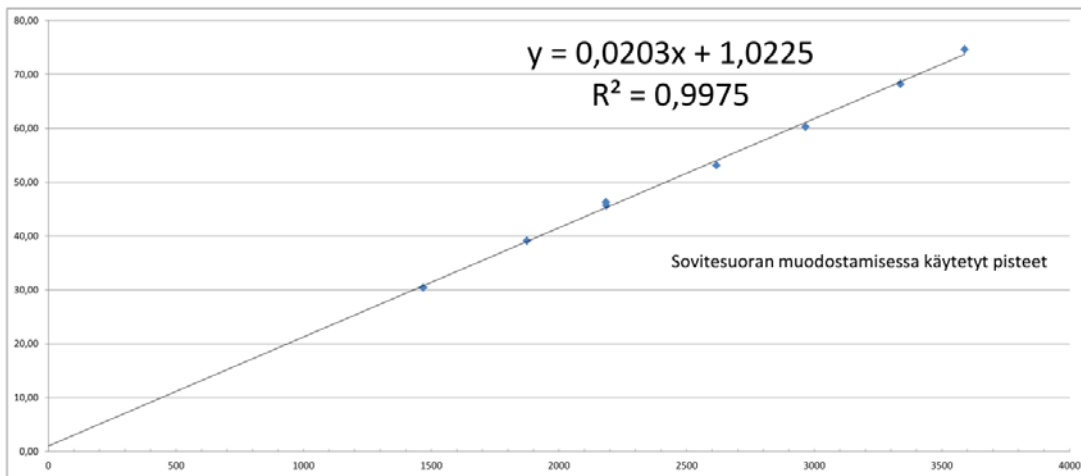
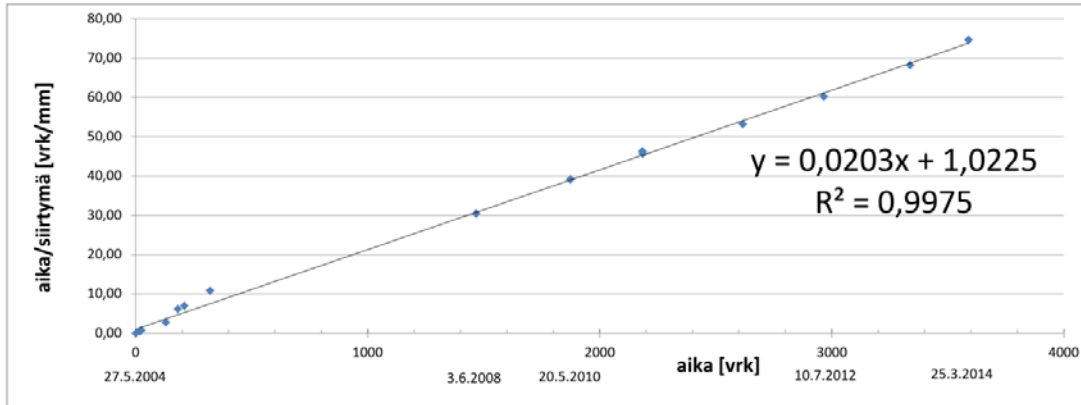
0,1 Liikenopeus tällä hetkellä (2014-2015) [mm/vuosi]

 $v_{2006-2014} =$

2,0 Liikenopeus töiden jälkeen (2006-2014) [mm/vuosi]

 $v_{2050-2051} =$

0,0 Liikenopeus ajanhetkellä (2050-2051) [mm/vuosi]



	Arabianranta. Parametrien laskentaa ja arviointia Plaxis-ohjelmaa varten:				Liite 10 (1/1)															
Savi- ja liejusavikerrosten vedenläpäisevyysarvot	Savikerrosten vedenläpäisevyysarvot: Hartman, E. 2008. Liite 2 (Vedenläpäisevyysarvot määritetty laboratoriossa) Arvot [m/s] on otettu keskiarvoina useista laboratoriokokeilla määritellyistä tuloksista kunkin maalajin kohdalta. <table><tr><td></td><td>[m/s]</td><td></td><td>[m/day]</td><td></td></tr><tr><td>k</td><td>3,45E-05</td><td>2,01E-10</td><td>0,0000174</td><td>Organic Clay (gyttja)</td></tr><tr><td>k</td><td>5,18E-06</td><td>3,66E-10</td><td>0,0000316</td><td>Clay</td></tr></table>						[m/s]		[m/day]		k	3,45E-05	2,01E-10	0,0000174	Organic Clay (gyttja)	k	5,18E-06	3,66E-10	0,0000316	Clay
	[m/s]		[m/day]																	
k	3,45E-05	2,01E-10	0,0000174	Organic Clay (gyttja)																
k	5,18E-06	3,66E-10	0,0000316	Clay																
	Lasketaan salpaseinälle keskimääräistetyt parametrit: Pinta-alojen suhteessa keskimääräistykseen vaikuttaa 42,8% verran stabiloidut pilarit ja 57,2% verran lamellien sisällä oleva savi.																			
Salpaseinän yläosan ja liejusavikerroksen lujuuden keskimääräistäminen kimmoduulien ja pinta-alojen suhteessa	Liejusaven tilavuuspaino on 14,0 kN/m ³ Laadunvalvontaraportin mukaan sideainetta on syötetty pilareiden yläosaan (liejuisen savikerroksen kohdalle) 220kg/m ³ Jos pilareiden teon yhteydessä savimassaa ei ole tullut paljoa pois, ominaispaino pilareille olisi 1400kg/m ³ + 220kg /m ³ => 16,2 kN/m ³ Salpaseinän ja maamassan keskimääräistetyksi tilavuuspainoksi saadaan: 14,9416 ==> 15kN/m ³ Pilarin tavoiteleikkauslujuus τ(tau) on yläosissa pilareita 400 kPa Syvästabiloinnin suunnitteluohjeen (2010) s.31. mukaan stabilointipilarin muodonmuutosmoduuli E voidaan laskea kaavalla E=20*τ ^{1,6} . Tämän mukaan stabilointipilareiden muodonmuutosmoduuliksi saadaan E=291 300 kPa Liejuisen saven kimmomoduliksi oletetaan 500 kPa (Kyläsaaren esirakentaminen (Arcada 2) raportti (2010)) Keskimääräiseksi kimmomoduliksi saadaan pinta-alojen suhteessa: 124962,4 ==> 125 000 kPa																			
Salpaseinän alaosan ja savikerroksen lujuuden keskimääräistäminen kimmoduulien ja pinta-alojen suhteessa	Saven tilavuuspaino on 15,0 kN/m ³ Laadunvalvontaraportin mukaan sideainetta on syötetty pilareiden alaosaan (savikerroksen kohdalle) 250kg/m ³ Jos pilareiden teon yhteydessä savimassaa ei ole tullut paljoa pois, ominaispaino pilareille olisi 1500kg/m ³ + 250kg/m ³ => 17,5 kN/m ³ Salpaseinän ja maamassan keskimääräistetyksi tilavuuspainoksi saadaan: 16,07 ==> 16kN/m ³ Pilarin tavoiteleikkauslujuus τ(tau) on alaosissa pilareita 750 kPa Syvästabiloinnin suunnitteluohjeen (2010) s.31. mukaan stabilointipilarin muodonmuutosmoduuli E voidaan laskea kaavalla E=20*τ ^{1,6} . Tämän mukaan stabilointipilareiden muodonmuutosmoduuliksi saadaan E=796 400 kPa Saven kimmomoduliksi oletetaan 590 kPa (Kyläsaaren esirakentaminen (Arcada 2) raportti (2010)) Keskimääräiseksi kimmomoduliksi saadaan pinta-alojen suhteessa: 341196,7 ==> 341 000 kPa																			
Rantapenkereen geolujite	Geolujitteet rakennusalueen 4 kohdalla: (Pirinen J 1984 s.37 Taulukko 4) Stabilenka 200/130, vetokokeilla todettu lujuudet 190/78,9 [kN/m] x- ja y-suunnissa. EA.1 = 2235 kN/m EA.2 = 877 kN/m N.p1 = 180 kN/m N.p2 = 71 kN/m																			
Tb-paalut	Teräsbetonipaalun 350 x 350 materiaaliominaisuuksia: Betonin pur.lujuus f.cm= 37000000 Kimmomoduuli E= 40GPa (arvo on betonin ja teräksen väliltä, betoni 30-40 GPa ja teräs 210 GPa.) tb-paalun tiheys 2500kg/m ³ 350 x 350 tb-paalulle sallittu max. kuorma F.max= 857 kN (arvo saatu Lohja Ruduksen tuotekortista.) Negatiivinen vaippahankaus: p.m.yla= 28 kN/m p.m.ala= 42 kN/m																			



X = 6677500
Y = 25499100

26.2.2015.

Arabianrannan jatkotutkimusohjelma.
Sivusiirtymäputkille ehdotetut sijainnit.
Kartan mittakaava 1:2000.

Lisätietoja diplomi työn luvusta 9.

Piste	x-koordinaatti	y-koordinaatti
1	6676948.66	25498797.21
2	6676929.65	25498818.65
3	6676917.08	25498954.36
4	6677057.73	25498986.48
5	6677491.96	25499014.10